Я. И. ПЕРЕЛЬМАН

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

КНИГА 2

ИЗДАНИЕ ДВАДЦАТЬ ПЕРВОЕ,
ИСПРАВЛЕННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Под редакцией А. В. МИТРОФАНОВА

МОСКВА «НА...
ГЛАВНАЯ РЕД...
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕ...

22.3
П 27
УДК 53 (023)

Перельман Я. И.

П 27 Занимательная физика. В двух книгах. Книга 2.— 21-е изд., испр. и доп.— М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983.— 272 с.

Вторая книга не является прямым продолжением первой — это самостоятельный сборник, охватывающий те же разделы физики, что и первая. Для оживления интереса к физическим расчетам в эту книгу введен вычислительный материал, и сборник в общем рассчитан на более подготовленного читателя, хотя различие в этом отношении между обеими книгами настолько незначительно, что их можно читать в любой последовательности и независимо одну от другой.

Для учащихся средних школ и техникумов, а также лиц, занимающихся самообразованием.

$\frac{1704010000-090}{053(02)-83}$ 117-82

ББК 22.3
53

Яков Исидорович ПЕРЕЛЬМАН

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

Книга 2

Оформление *В. Я. Батищева*
Рисунки *М. М. Никитюка, П. И. Чернуского*

Редактор *Л. И. Гладнева*
Технический редактор *В. Н. Кондакова*
Корректоры: *О. А. Бутусова, Т. С. Вайсберг*

ИБ № 12130

Печать с матриц. Подписано к печати 4.07.83. Т-11349.
Формат 84×108 1/32. Бумага тип. № 3
Обыкновенная новая гарнитура. Высокая печать.
Условн. печ. л. 14,28. Уч.-изд. л. 15,4. Допечатка тиража 400 000 экз. (2-й завод 100 001—400 000 экз.). Заказ № 1999.
Цена 50 коп.

Издательство «Наука»
Главная редакция физико-математической литературы
117071, Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома при [...]ственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и [...]жной торговли. 113054, Москва, М-54, Валовая, 28

1*

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Вторая книга «Занимательная физика» является самостоятельным сборником увлекательных очерков, составленных неутомимым популяризатором науки, писателем и педагогом Яковом Исидоровичем Перельманом (1882—1942).

В чем секрет успеха «Занимательной физики» у нас в стране и за рубежом? В 1924 г. О. Д. Хвольсон, автор пятитомного учебника по физике, писал о Я. И. Перельмане: «Автор приобрел вполне заслуженную известность своими популярными сочинениями, между которыми первое место занимает «Занимательная физика». Это, в действительности, занимательная книга, интересная даже для специалиста по физике. В ней собран обширный и разнообразный материал, изложение легкое и правильное».

И сейчас книга читается легко и с интересом, хотя с тех пор очень многое изменилось в системе наших знаний и физических представлений.

Двадцать первое издание «Занимательной физики» подготовлено издательством к столетию со дня рождения Я. И. Перельмана. Редакция стремилась сохранить авторский текст, была сделана попытка вернуться даже к более старым, прижизненным изданиям автора. Дополнения и примечания редактора приведены в конце книги.

Когда-то Я. И. Перельман заметил, что «Занимательная физика» написана не для того, чтобы оставить любопытного читателя удовлетворенным. Напротив, ее задача — «возбудить жажду знаний, породить охоту к дальнейшему чтению». И мы надеемся, что эта книга будет с интересом принята нашими современниками — молодыми читателями, любознательными и пытливыми, которым еще не раз придется столкнуться в повседневной жизни с удивительным миром физических явлений.

А. В. Митрофанов

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА К ТРИНАДЦАТОМУ ИЗДАНИЮ

Эта книга представляет собой самостоятельный сборник, не являющийся прямым продолжением первой книги «Занимательная физика». Успех первого сборника побудил автора обработать остальной накопившийся у него материал, и таким образом составилась эта вторая или, вернее, другая книга, охватывающая те же разделы физики.

В предлагаемой книге, как и в первой, составитель стремится не столько сообщить новые знания, сколько оживить и освежить те простейшие сведения по физике, которые у читателя уже имеются. Цель книги — возбудить деятельность научного воображения, приучить мыслить в духе физики и развить привычку к разностороннему применению своих знаний. Поэтому в «Занимательной физике» отводится описанию эффектных опытов второстепенное место; на первый же план выдвигаются физические головоломки, интересные задачи, поучительные парадоксы, замысловатые вопросы, неожиданные сопоставления из области физических явлений и т. п. В поисках такого материала составитель обращается к кругу явлений обиходной жизни, к области техники, к природе, к страницам научно-фантастических романов,— словом, ко всему, что, находясь за пределами учебника и физического кабинета, способно привлечь внимание любознательного читателя.

Предназначая книгу не для изучения, а для чтения, составитель старался, насколько умел, придать изложению и внешне интересную форму, исходя из того, что интерес к предмету повышает внимание, усиливает работу мысли и, следовательно, способствует более сознательному усвоению.

Для оживления интереса к физическим расчетам в некоторые статьи этого сборника введен вычислительный материал (чего в первой книге почти не делалось).

В общем, настоящий сборник по подбору материала предназначается для несколько более подготовленного читателя, нежели первая книга «Занимательная физика», хотя различие в этом отношении между обеими книгами настолько незначительно, что их можно читать в любой последовательности и независимо одну от другой.

Третьей книги «Занимательная физика» не существует. Взамен ее автором составлены следующие книги: «Занимательная механика», «Знаете ли вы физику?» и, кроме того, отдельная книга, посвященная вопросам астрономии: «Занимательная астрономия».

Я. Перельман

1936 г.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ МЕХАНИКИ

Самый дешевый способ путешествовать

Остроумный французский писатель XVII века Сирано де Бержерак в своей сатирической «Истории государств на Луне и Солнце» рассказывает, между прочим, о таком будто бы происшедшем с ним удивительном случае. Занимаясь физическими опытами, он однажды непостижимым образом был поднят вместе со своими склянками высоко в воздух. Когда же через несколько часов ему удалось спуститься вновь на Землю, то, к изумлению, очутился он уже не в родной Франции и даже не в Европе, а на материке Северной Америки, в Канаде! Свой неожиданный перелет через Атлантический океан французский писатель, однако, находит вполне естественным. Он объясняет его тем, что, пока невольный путешественник был отделен от земной поверхности, планета наша продолжала по-прежнему вращаться на восток; вот почему, когда он опустился, под ногами его вместо Франции оказался уже материк Америки.

Казалось бы, какой дешевый и простой способ путешествовать! Стоит только подняться над Землей и продержаться в воздухе хотя бы несколько минут, чтобы опуститься уже совершенно в другом месте, далеко к западу. Вместо того чтобы предпринимать утомительные путешествия через материки и океаны, можно неподвижно висеть над Землей и выжидать, пока она сама подставит путнику место назначения.

К сожалению, удивительный способ этот — не более как фантазия. Во-первых, поднявшись в воздух, мы, в сущности, не отделяемся еще от земного шара: мы остаемся связанными с его газообразной оболочкой, висим в его атмосфере, которая тоже ведь участвует во вращении Земли вокруг оси (рис. 1). Воздух (вернее, его нижние более плотные слои) вращается вместе с Землей, увлекая с собой все, что в нем находится: облака, самолеты, летящих птиц, насекомых и т. д. Если бы воздух не

участвовал во вращении земного шара, то, стоя на Земле, мы постоянно чувствовали бы сильнейший ветер, по сравнению с которым самый страшный ураган казался бы нежным дуновением *). Ведь совершенно безразлично: стоим ли мы на месте, а воздух движется мимо нас, или же, наоборот, воздух неподвижен, а мы перемещаемся в нем; в обоих случаях мы ощущаем одинаково сильный ветер. Мотоциклист, движущийся со скоростью 100 км/ч, чувствует сильнейший встречный ветер даже в совершенно тихую погоду.

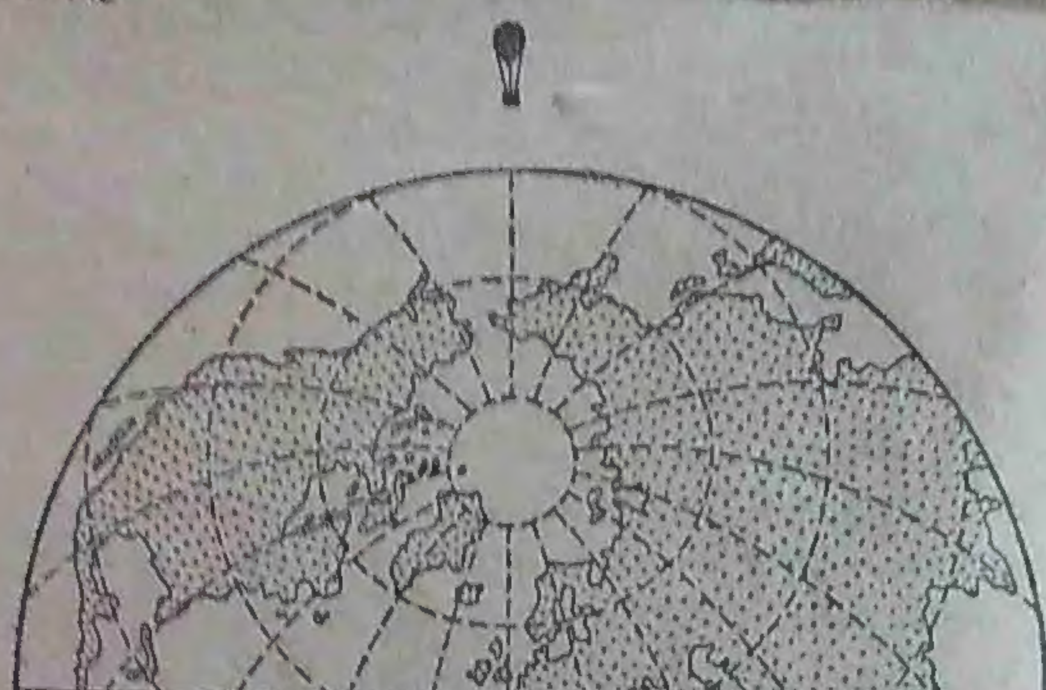


Рис. 1. Можно ли с аэростата видеть, как вращается земной шар?

Это во-первых. Во-вторых, если бы даже мы могли подняться в верхние слои атмосферы или если бы Земля вовсе не была окружена воздухом, нам и тогда не удалось бы воспользоваться тем дешевым способом путешествовать, о котором фантазировал французский сатирик. В самом деле, отделяясь от поверхности вращающейся Земли, мы продолжаем по инерции двигаться с прежней скоростью, т. е. с той же, с какой перемещается под нами Земля. Когда же мы снова опускаемся вниз, мы оказываемся в том самом месте, от которого раньше отделились, подобно тому как, подпрыгнув в вагоне движущегося поезда, мы опускаемся на прежнее место. Правда, мы будем двигаться по инерции прямолинейно (по касательной), а «место под нами» — по дуге; но для небольших промежутков времени это не меняет дела.

*) Скорость урагана 40 м/с (144 км/ч) [1]). Земной же шар на широте, например, Ленинграда проносил бы мимо нас воздух со скоростью 230 м/с (828 км/ч)!

«Земля, остановись!»

У известного английского писателя Герберта Уэллса есть фантастический рассказ о том, как некий конторщик творил чудеса. Весьма недалекий молодой человек оказался волей судьбы обладателем удивительного дара: стоило ему высказать какое-нибудь пожелание, и оно немедленно исполнялось. Однако заманчивый дар, как оказалось, не принес ни его обладателю, ни другим людям ничего, кроме неприятностей. Для нас поучителен конец этой истории.

После затянувшейся ночной попойки конторщик-чудодей, опасаясь явиться домой на рассвете, вздумал воспользоваться своим даром, чтобы продлить ночь. Как это сделать? Надо приказать светилам неба приостановить свой бег. Конторщик не сразу решился на такой необычайный подвиг, и когда приятель посоветовал ему остановить Луну, он, внимательно поглядев на нее, сказал в раздумье:

«— Мне кажется, она слишком далеко для этого . . . Как вы полагаете?

— Но почему же не попробовать? — настаивал Мейдиг (так звали приятеля.— *Я. П.*).— Она, конечно, не остановится, вы только прекратите вращение Земли. Надеюсь, это никому не повредит!

— Гм,— сказал Фотерингей (конторщик.— *Я. П.*).— Хорошо, попробую. Ну...

Он стал в повелительную позу, простер руки над миром и торжественно произнес:

— Земля, остановись! Перестань вращаться!

Не успел он договорить эти слова, как приятели уже летели в пространство со скоростью нескольких дюжин миль в минуту.

Несмотря на это, он продолжал думать. Меньше чем в секунду он успел и подумать и высказать про себя следующее пожелание:

— Что бы ни случилось, пусть я буду жив и невредим!

Нельзя не признать, что желание это было высказано вовремя. Еще несколько секунд,— и он упал на какую-то свежевзрытую землю, а вокруг него, не принося ему никакого вреда, неслись камни, обломки зданий, металлические предметы разного рода; летела и какая-то несчастная корова, разбившаяся при ударе о землю. Ветер дул со страшной силой; он не мог даже приподнять голову, чтобы оглянуться вокруг.

— Непостижимо,— воскликнул он прерывающимся голосом. — Что случилось? Буря, что ли? Должно быть, я что-нибудь не так сделал.

Осмотревшись, насколько позволял ему ветер и развевавшиеся фалды пиджака, он продолжал:

— На небе-то, кажется, все в порядке. Вот и Луна. Ну, а все остальное... Где же город? Где дома и улицы? Откуда взялся ветер? Я не приказывал быть ветру.

Фотерингей попробовал встать на ноги, но это оказалось совершенно невозможным, и потому он подвигался вперед на четвереньках, придерживаясь за камни и выступы почвы. Идти, впрочем, было некуда, так как, насколько можно было видеть из-под фалд пиджака, закинутых ветром на голову пресмыкающегося чудотворца, все кругом представляло собой одну картину разрушения.

— Что-то такое во Вселенной серьезно испортилось, — подумал он,— а что именно — неизвестно.

Действительно, испортилось. Ни домов, ни деревьев, ни каких живых существ — ничего не было видно. Только бесформенные развалины да разнородные обломки валялись кругом, едва видные среди целого урагана пыли.

Виновник всего этого не понимал, конечно, в чем дело. А между тем оно объяснялось очень просто. Остановив Землю сразу, Фотерингей не подумал об инерции, а между тем она при внезапной остановке кругового движения неминуемо должна была сбросить с поверхности Земли все на ней находящееся. Вот почему дома, люди, деревья, животные — вообще все, что только не было неразрывно связано с главной массой земного шара, полетело по касательной к ее поверхности со скоростью пули. А затем все это снова упало на Землю, разбиваясь вдребезги.

Фотерингей понял, что чудо, им совершенное, не особенно удачно. А потому им овладело глубокое отвращение ко всяким чудесам, и он дал себе слово не творить их больше. Но прежде нужно было поправить беду, которую он наделал. Беда эта оказалась немалой. Буря свирепствовала, облака пыли закрыли Луну, и вдали слышен был шум приближающейся воды; Фотерингей видел при свете молнии целую водяную стену, со страшной скоростью подвигавшуюся к тому месту, на котором он лежал. Он стал решительным.

— Стой! — вскричал он, обращаясь к воде.— Ни шагу далее!

Затем повторил то же распоряжение грому, молнии и ветру. Все затихло. Присев на корточки, он задумался.

— Как бы это опять не наделать какой-нибудь кутерьмы,— подумал он и затем сказал: — Во-первых, когда исполнится все, что я сейчас прикажу, пусть я потеряю способность творить чудеса и буду таким же, как обыкновенные люди. Не надо чудес. Слишком опасная игрушка. А во-вторых, пусть все будет по-старому: тот же город, те же люди, такие же дома, и я сам такой же, каким был тогда.

Письмо с самолета

Вообразите, что вы находитесь в самолете, который быстро летит над Землей. Внизу — знакомые места. Сейчас вы пролетите над домом, где живет ваш приятель. «Хорошо бы послать ему привет»,— мелькает у вас в голове. Быстро пишете вы несколько слов на листке записной книжки, привязываете записку к какому-либо тяжелому предмету, который мы в дальнейшем будем называть грузом, и, выждав момент, когда дом оказывается как раз под вами, выпускаете груз из рук. Вы в полной уверенности, конечно, что груз упадет в саду дома. Однако он падает

вовсе не туда, хотя сад и дом расположены прямо под вами!

Следя за его падением с самолета, вы увидели бы странное явление: груз опускается вниз, но в то же время *продолжает оставаться под самолетом*, словно скользя по привязанной к нему невидимой нити. И когда груз достигнет Земли, он будет находиться далеко впереди того места, которое вы наметили.

Здесь проявляется тот же закон инерции, который мешает воспользоваться соблазнительным советом путешествовать по способу Бержерака. Пока груз был в самолете, он двигался вместе с машиной. Вы отпустили его. Но, отделившись от самолета и падая вниз, груз не утрачивает своей первоначальной скорости, а, падая, продолжает в то же время совершать движение в воздухе в прежнем направлении. Оба движения, отвесное и горизонтальное, складываются, и в результате груз летит вниз по кривой линии, оставаясь все время под самолетом (если, конечно, сам самолет не изменяет направления или скорости полета). Груз летит, в сущности, так же, как летит горизонтально брошенное тело, например пуля, выброшенная из горизонтально направленного ружья: тело описывает дугообразный путь, оканчивающийся в конце концов на Земле.

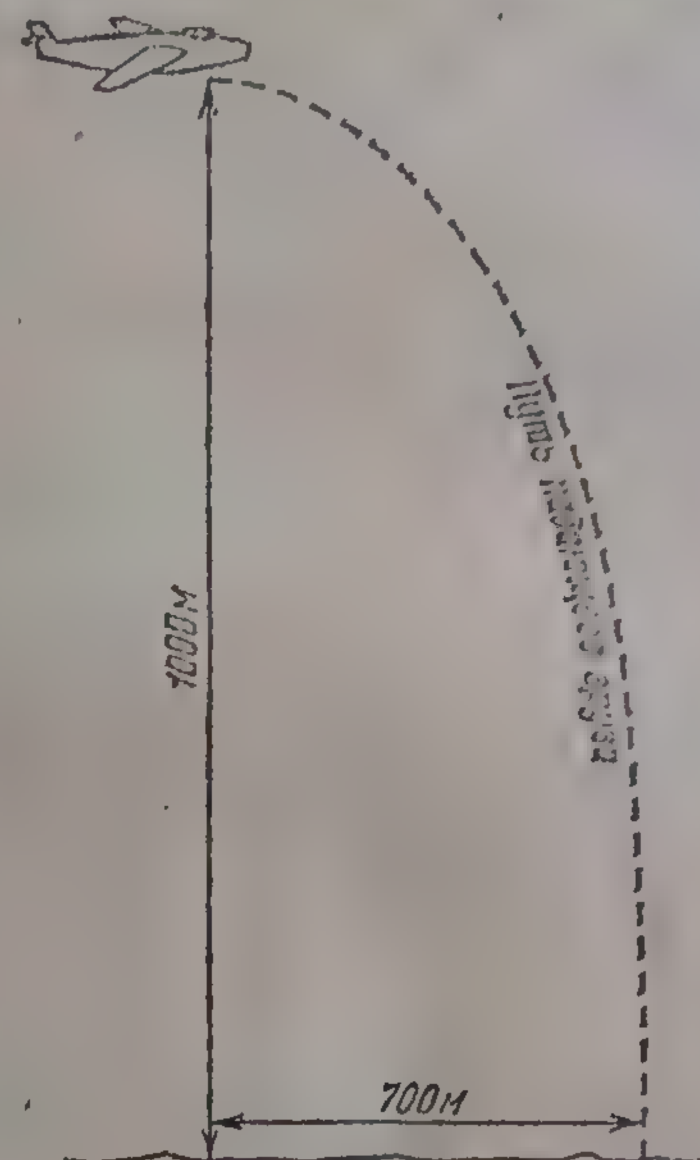


Рис. 2. Груз, брошенный с летящего самолета, падает не отвесно, а по кривой.

Заметим, что все сказанное здесь было бы совершенно верно, если бы не было сопротивления воздуха. На самом деле это сопротивление тормозит и вертикальное и горизонтальное перемещения груза, вследствие чего груз не остается все время прямо под самолетом, а несколько отстает от него.

Уклонение от отвесной линии может быть очень значительно, если самолет летит высоко и с большой ско-

ростью. В безветренную погоду груз, падающий с само[illegible] который на высоте 1000 м летит со скоростью 180 [illegible] упадет на 700 м впереди места, лежащего отвесно по[illegible] молетом (рис. 2).

Расчет (если пренебречь сопротивлением воздуха) несложен. Из формулы для пути при равномерно ускоренном движении $S=gt^2/2$ мы получим, что $t=\sqrt{2S/g}$. Значит, с высоты 1000 м груз должен падать в течение времени

$$t=\sqrt{\frac{2\cdot 1000\text{ м}}{9{,}8\text{ м/с}^2}}\approx 14\text{ с}.$$

За это время он успеет переместиться в горизонтальном направлении на расстояние

$$l=\frac{180000\text{ м/с}}{3600}\cdot 14\text{ с}=700\text{ м}.$$

Бомбометание

После сказанного становится ясным, как трудна задача военного летчика, которому поручено сбросить бомбу на определенное место: ему приходится принимать в расчет и скорость самолета, и влияние воздуха на падающее тело и, кроме того, еще скорость ветра. На рис. 3 схематически представлены различные пути, описываемые сброшенной бомбой при тех или иных условиях. Если ветра нет, сброшенная бомба летит по кривой AF; почему так — мы объяснили выше. При попутном ветре бомбу относит вперед и она движется по кривой AG. При встречном ветре умеренной силы бомба падает по кривой AD, если ветер вверху и внизу одинаков. Если же, как часто бывает, ветер внизу имеет направление, противоположное верхнему ветру (наверху — встречный, внизу — попутный), кривая падения изменяет свой вид и принимает форму линии AE.

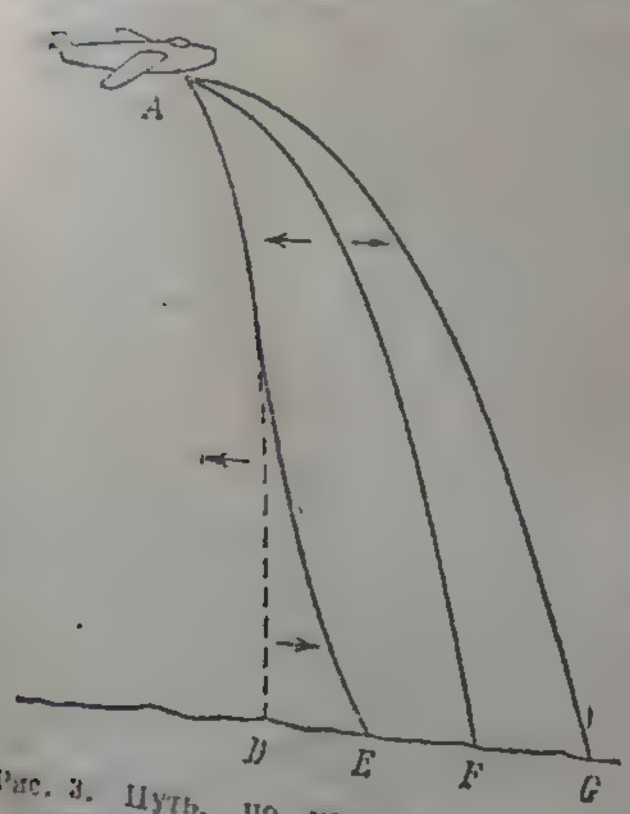


Рис. 3. Путь, по которому падают бомбы, сброшенные с самолета.

Когда вы стоите на неподвижной платформе вокзала и мимо нее проносится курьерский поезд, то вскочить в вагон на ходу, конечно, мудрено. Но представьте себе, что и платформа под вами тоже движется, притом с такой же скоростью и в ту же сторону, как и поезд. Трудно ли будет вам тогда войти в вагон?

Нисколько: вы войдете так же спокойно, как если бы вагон стоял неподвижно. Раз и вы, и поезд движетесь в одну сторону с одинаковой скоростью, то *по отношению к вам поезд находится в полном покое*. Правда, колеса его вращаются, но вам будет казаться, что они вертятся на месте. Строго говоря, все те предметы, которые мы обычно считаем неподвижными (например, поезд, стоящий у вокзала), движутся вместе с нами вокруг оси земного шара и вокруг Солнца; однако практически мы можем не учитывать это движение, так как оно нам нисколько не мешает.

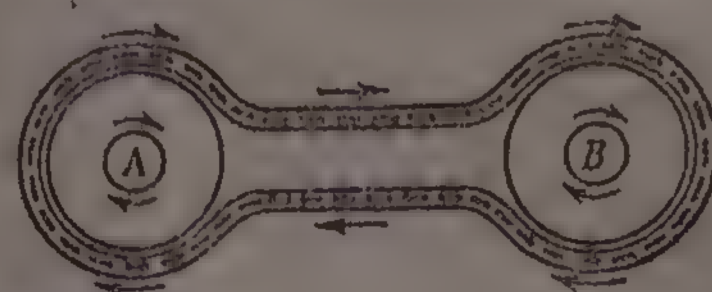


Рис. 4. Схема устройства безостановочной железной дороги.

Следовательно, вполне мыслимо устроить так, чтобы поезд, проходя мимо станций, принимал и высаживал пассажиров на полном ходу, не останавливаясь.

Приспособления такого рода нередко устраиваются на выставках, чтобы дать публике возможность быстро и удобно осматривать их достопримечательности, раскинутые на обширном пространстве. Крайние пункты выставочной площади, словно бесконечной лентой, соединяются железной дорогой; пассажиры могут в любой момент и в любом месте входить в вагоны и выходить из них на полном ходу поезда.

Это любопытное устройство показано на рис. 4. На каждой станции помещается круглая неподвижная площадка, окруженная большим вращающимся кольцеобразным диском. Вокруг вращающихся дисков обеих станций обходит канат, к которому прицеплены вагоны. Теперь последите, что происходит при вращении диска. Вагоны движутся вокруг дисков с такой же скоростью, с какой вращаются их внешние края; следовательно, пассажиры без малейшей опасности могут переходить с дисков

в вагоны или, наоборот, покидать поезд. Выйдя из вагона, пассажир идет по вращающемуся диску к центру круга, пока не дойдет до неподвижной площадки; а перейти с внутреннего края подвижного диска на неподвижную площадку уже нетрудно, так как здесь, при малом радиусе круга, весьма мала и круговая скорость *). Достигнув внутренней неподвижной площадки, пассажиру остается лишь перебраться по мостику на землю вне железной дороги (рис. 5).

Отсутствие частых остановок дает огромный выигрыш во времени и затрате энергии. В городских трамваях, например, большая часть времени и почти две трети всей энергии тратится на постепенное ускорение движения при отходе со станции и на замедление при остановках **).

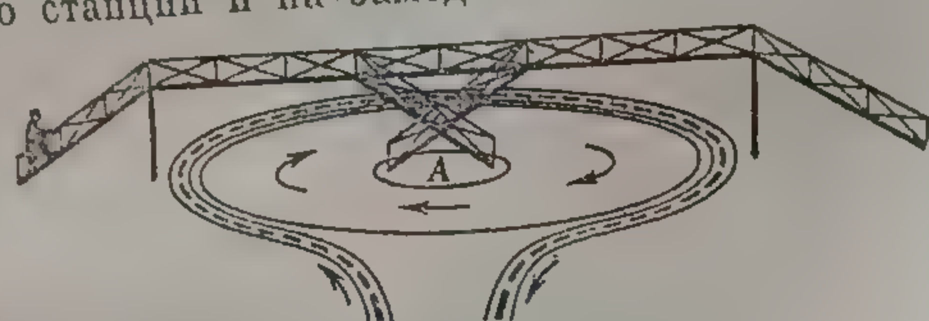


Рис. 5. Станция безостановочной железной дороги.

На станциях железных дорог можно было бы обойтись даже без специальных подвижных платформ, чтобы принимать и высаживать пассажиров на полном ходу поезда. Вообразите, что мимо обыкновенной неподвижной станции проносится курьерский поезд; мы желаем, чтобы он, не останавливаясь, принял здесь новых пассажиров. Пусть же эти пассажиры займут пока места в другом поезде, стоящем на запасном параллельном пути, и пусть этот поезд начнет двигаться вперед, развивая ту же скорость, что и курьерский. Когда оба поезда окажутся рядом, они будут неподвижны *один относительно другого*: достаточно перекинуть мостки, которые соединяли бы вагоны обоих поездов,— и пассажиры вспомогательного поезда смогут спокойно перейти в курьерский. Остановки на станциях сделаются, как видите, излишними.

*) Легко понять, что точки внутреннего края диска движутся значительно медленнее, нежели точки наружного края, так как в одно и то же время описывают гораздо меньший круговой путь.

**) Потери энергии на торможение можно избежать, если при торможении переключать электромоторы вагона так, чтобы они работали как динамомашины, возвращая ток в сеть. В Шарлоттенбурге (предместье Берлина) благодаря этому расход энергии на трамвайное движение удалось снизить на 30% *).

«Предупреждение катастроф»

Интересным примером использования закона относительного движения может служить запатентованное на Западе приспособление, с помощью которого изобретатель надеялся предотвращать столкновения автомобилей с поездами в местах пересечения шоссе с железнодорожным полотном. У переездов устраивается особая въездная площадка, настил которой при приближении поезда начинает автоматически двигаться назад на роликах, подобно бесконечному ремню. Скорость движения настила превышает наибольшую скорость автомобиля; поэтому автомобиль, оказавшийся на такой движущейся площадке, будет отнесен ею назад, как бы ни была велика его скорость. После прохода поезда движение настила прекращается — и автомобиль беспрепятственно проносится через полотно.

Движущиеся тротуары

На принципе относительности движения основано и другое приспособление, применявшееся на выставках: так называемые «движущиеся тротуары». Впервые они были

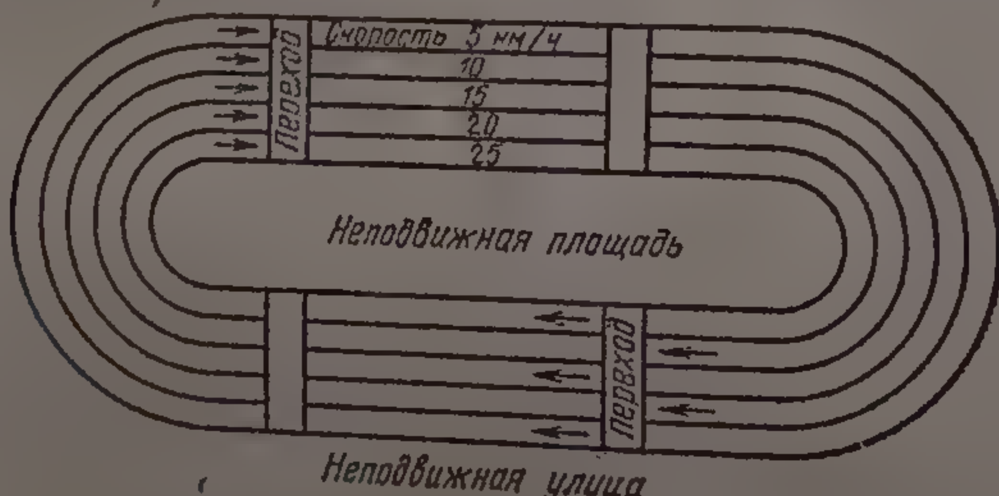


Рис. 6. Движущиеся тротуары.

осуществлены на выставке в Чикаго в 1893 г., затем на Парижской Всемирной выставке в 1900 г. Вот схема такого устройства (рис. 6). Вы видите пять замкнутых полос-тротуаров, движущихся посредством особого механизма одна внутри другой с различной скоростью.

Самая крайняя полоса идет довольно медленно — со скоростью всего 5 км/ч; это обыкновенная скорость пешехода, и вступить на такую медленно ползущую полосу нетрудно. Рядом с ней, внутри, бежит вторая полоса, со

скоростью 10 км/ч. Вскочить на нее прямо с неподвижной улицы было бы опасно, но перейти на нее с первой полосы ничего не стоит. В самом деле: по отношению к первой полосе, ползущей со скоростью 5 км/ч, вторая, бегущая со скоростью 10 км/ч, делает всего только 5 км/ч; значит, перейти с первой на вторую столь же легко, как перейти с улицы на первую. Третья полоса движется уже со скоростью 15 км/ч, но перейти на нее со второй полосы, конечно, не трудно. Так же легко перейти с третьей полосы на следующую, четвертую, бегущую со скоростью 20 км/ч, и, наконец, с нее на пятую, мчащуюся уже со скоростью 25 км/ч. Эта пятая полоса доставляет пассажира до того пункта, который ему нужен; отсюда, последовательно переходя обратно с полосы на полосу, он высаживается на неподвижную улицу.

Трудный закон

Ни один из трех основных законов механики не вызывает, вероятно, столько недоумений, как знаменитый «третий закон Ньютона» — *закон действия и противодействия*. Все его знают, умеют даже в иных случаях правильно применять, — и однако мало кто свободен от некоторых неясностей в его понимании. Может быть, читатель, вам посчастливилось сразу понять его, — но я, сознаюсь, вполне постиг его лишь десяток лет спустя после первого с ним знакомства.

Беседуя с разными лицами, я не раз убеждался, что многие готовы признать правильность этого закона лишь с существенными оговорками. Охотно допускают, что он верен для тел неподвижных, но не понимают, как можно применять его к взаимодействию тел движущихся... Действие, — гласит закон, — всегда равно и противоположно противодействию. Это значит, что, если лошадь тянет телегу, то и телега тянет лошадь назад с такой же силой. Но ведь тогда телега должна оставаться на месте: почему же все-таки она движется? Почему эти силы не уравновешивают одна другую, если они равны?

Таковы обычные недоумения, связанные с этим законом. Значит, закон неверен? Нет, он безусловно верен; мы только неправильно понимаем его. Силы не уравновешивают друг друга просто потому, что приложены к *разным* телам: одна — к телеге, другая — к лошади. Силы равны, да, — но разве одинаковые силы всегда произво-

дит одинаковые действия? Разве равные силы сообщают всем телам равные ускорения? Разве действие силы на тело не зависит от тела, от того «сопротивления», которое само тело оказывает силе?

Если подумать об этом, станет ясно, почему лошадь увлекает телегу, хотя телега тянет ее обратно с такой же силой. Сила, действующая на телегу, и сила, действующая на лошадь, в каждый момент равны; но так как телега свободно перемещается на колесах, а лошадь упирается в землю, то понятно, почему телега катится в сторону лошади. Подумайте и о том, что если бы телега не оказывала противодействия движущей силе лошади, то... можно было бы обойтись и без лошади: самая слабая сила должна была бы привести телегу в движение. Лошадь затем и нужна, чтобы преодолевать противодействие телеги [3]).

Все это усваивалось бы лучше и порождало бы меньше недоумений, если бы закон высказывался не в обычной краткой форме: «действие равно противодействию», а, например, так: «сила противодействующая равна силе действующей». Ведь равны здесь только *силы*,— действия же (если понимать, как обычно понимают, под «действием силы» перемещение тела) различны, потому что силы приложены к *разным телам*.

Точно так же, когда полярные льды сдавливали корпус «Челюскина», его борта давили на лед с равной силой. Катастрофа произошла оттого, что мощный лед оказался способным выдержать такой напор, не разрушаясь; корпус же судна, хотя и стальной, но не представляющий собой сплошного тела, поддался этой силе, был смят и раздавлен. (Подробнее о физических причинах гибели «Челюскина» рассказано далее, на с. 40.)

Даже падение тел подчиняется закону противодействия. Яблоко падает на Землю оттого, что его притягивает земной шар; но *точно с такой же силой и яблоко притягивает к себе всю нашу планету*. Строго говоря, яблоко и Земля падают друг на друга, но скорость этого падения различна для яблока и для Земли. Равные силы взаимного притяжения сообщают яблоку ускорение 10 м/с², а земному шару — во столько раз меньшее, во сколько раз масса Земли превышает массу яблока. Конечно, масса земного шара в неимоверное число раз больше массы яблока, и потому Земля получает перемещение настолько ничтожное, что практически его можно считать равным

нулю. Оттого-то мы и говорим, что яблоко падает на Землю, вместе того чтобы сказать: «яблоко и Земля падают друг на друга» *).

Отчего погиб Святогор-богатырь?

Помните народную былину о Святогоре-богатыре, который вздумал поднять Землю? Архимед, если верить преданию, тоже готов был совершить такой подвиг и требовал точки опоры для своего рычага. Но Святогор был силен и без рычага. Он искал лишь, за что ухватиться, к чему приложить богатырские руки. «Как бы я тяги нашел, так бы всю землю поднял»! Случай представился: богатырь нашел на земле «сумочку переметную», которая «не скрянется, не ворохнется, не подымется»:

> Слезает Святогор с добра коня,
> Ухватил он сумочку обема рукама,
> Поднял сумочку повыше колен:
> И по колена Святогор в землю угряз,
> А по белу лицу не слезы, а кровь течет.
> Где Святогор угряз, тут и встать не мог.
> Тут и ему было кончение.

Если бы Святогору был известен закон действия и противодействия, он сообразил бы, что богатырская сила его, приложенная к Земле, вызовет равную, а следовательно, столь же колоссальную противодействующую силу, которая может втянуть его самого в землю.

Во всяком случае, из былины видно, что народная наблюдательность давно подметила противодействие, оказываемое землей, когда на нее опираются. Люди бессознательно применяли закон противодействия за тысячелетия до того, как Ньютон впервые провозгласил его в своей бессмертной книге «Математические основы натуральной философии» (т. е. физики).

Можно ли двигаться без опоры?

При ходьбе мы отталкиваемся ногами от земли или от пола; по очень гладкому полу или по льду, от которого нога не может оттолкнуться, ходить нельзя. Паровоз при движении отталкивается «ведущими» колесами от рель-

*) О законе противодействия см. также в гл. 1 моей «Занимательной механики».

кто рельсы смазать маслом, паровоз останется на месте. Иногда даже (в гололедицу), для того чтобы сдвинуть поезд с места, рельсы перед ведущими колесами паровоза посыпают песком из специального приспособления. Когда колеса и рельсы (на заре железных дорог) делали зубчатыми, исходили именно из того, что колеса должны отталкиваться от рельсов. Пароход отталкивается от воды лопастями бортового колеса или гребного винта. Самолет отталкивается от воздуха также при помощи винта — пропеллера. Словом, в какой бы среде ни двигался предмет, он опирается на нее при своем перемещении. Но может ли тело начать двигаться, не имея *никакой опоры*?

Казалось бы, стремиться осуществить такое движение — все равно, что пытаться самого себя поднять за волосы. Как известно, такая попытка до сих пор удалась лишь барону Мюнхгаузену. Между тем, именно такое будто бы невозможное движение часто происходит на наших глазах. Правда, тело не может привести себя *целиком* в движение одними внутренними силами, но оно может заставить некоторую часть своего вещества двигаться в одну сторону, остальную же — в противоположную. Сколько раз видели вы летящую ракету, а задумались ли над вопросом: почему она летит? В ракете мы имеем наглядный пример как раз того рода движения, которое нас сейчас интересует.

Почему взлетает ракета?

Даже среди людей, изучавших физику, случается нередко слышать совершенно превратное объяснение полета ракеты: она летит потому будто бы, что своими газами, образующимися при горении в ней пороха, *отталкивается от воздуха*. Так думали в старину (ракеты — давнее изобретение) [4]. Однако если пустить ракету в безвоздушное пространство, она полетела бы не хуже, а даже лучше, чем в воздухе. Истинная причина движения ракеты совершенно иная. Очень понятно и просто изложил ее революционер-первомартовец Кибальчич в предсмертной своей записке об изобретенной им летательной машине. Объясняя устройство боевых ракет, он писал:

«В жестяной цилиндр, закрытый с одного основания и открытый с другого, вставляется плотно цилиндр из прессованного пороха, имеющий по оси свободный канал. Горение пороха начинается с поверхности этого канала и распространяется в течение определен-

ного промежутка времени до наружной поверхности прессованного пороха; образующиеся при горении газы производят давление во все стороны; но боковые давления газов взаимно уравновешиваются, давление же на дно жестяной оболочки пороха, не уравновешенное противоположным давлением (так как в эту сторону газы имеют свободный выход), толкает ракету вперед.

Здесь происходит то же, что и при выстреле из пушки: снаряд летит вперед, а сама пушка отталкивается назад. Вспомните «отдачу» ружья и всякого вообще огнестрельного оружия! Если бы пушка висела в воздухе, ни на что не опираясь, она после выстрела двигалась бы назад с некоторой скоростью, которая во столько раз меньше скорости снаряда, во сколько раз снаряд легче самой пушки. В фантастическом романе Жюля Верна «Вверх дном» американцы задумали даже воспользоваться силой отдачи исполинской пушки для выполнения грандиозной затеи — «выпрямить земную ось».

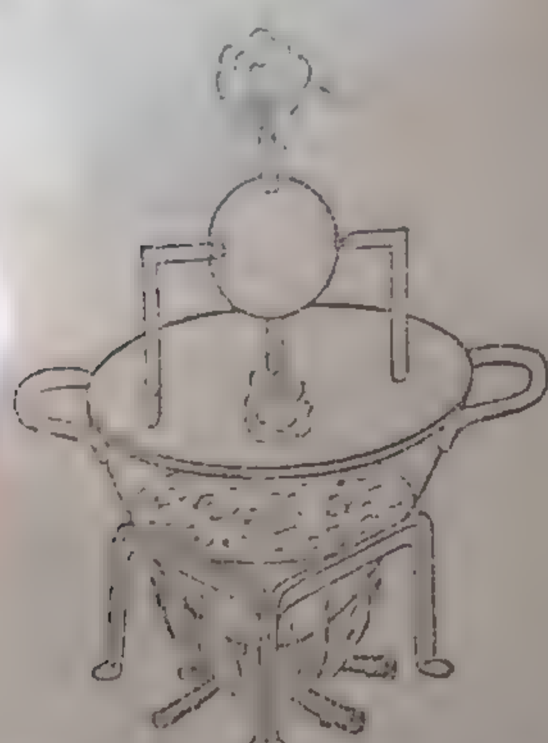


Рис. 7. Самая древняя паровая турбина, приписываемая Герону Александрийскому.

Ракета — та же пушка, только извергает она не снаряды, а пороховые газы. По той же причине вращается и так называемое «китайское колесо», которым, вероятно, случалось вам любоваться при устройстве фейерверка: при горении пороха в трубках, прикрепленных к колесу, газы вытекают в одну сторону, сами же трубки (а с ними и колесо) получают обратное движение. В сущности, это лишь видоизменение общеизвестного физического прибора — «сегнерова колеса».

Интересно отметить, что до изобретения парохода существовал проект механического судна, основанный на том же начале; запас воды на судне предполагалось выбрасывать с помощью сильного нагнетательного насоса в кормовой части; вследствие этого корабль должен был двигаться вперед. Проект этот (предложенный Рамсеем) не был осуществлен *), однако он сыграл известную роль в изобретении парохода, так как натолкнул Фультона на его идею.

Мы знаем также, что самая древняя паровая турбина, изобретенная Героном Александрийским еще во II веке до нашей эры, была устроена по тому же принципу: пар

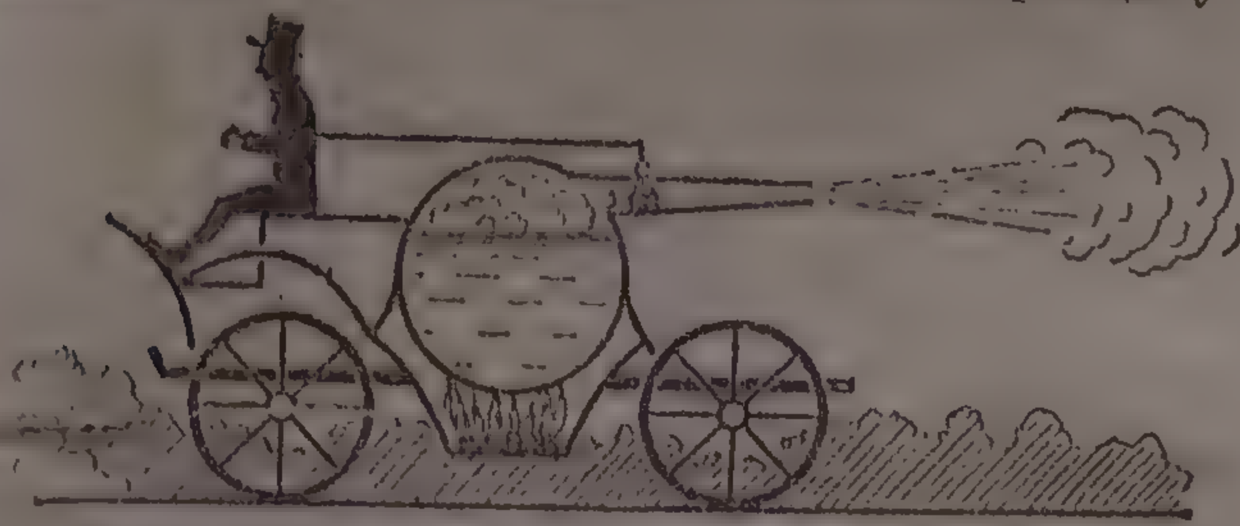


Рис. 8. Паровой автомобиль, приписываемый Ньютону.

из котла (рис. 7) поступал по трубке в шар, укрепленный на горизонтальной оси; вытекая затем из коленчато-изогнутых трубок, пар толкал эти трубки в обратном направлении, и шар начинал вращаться. К сожалению,

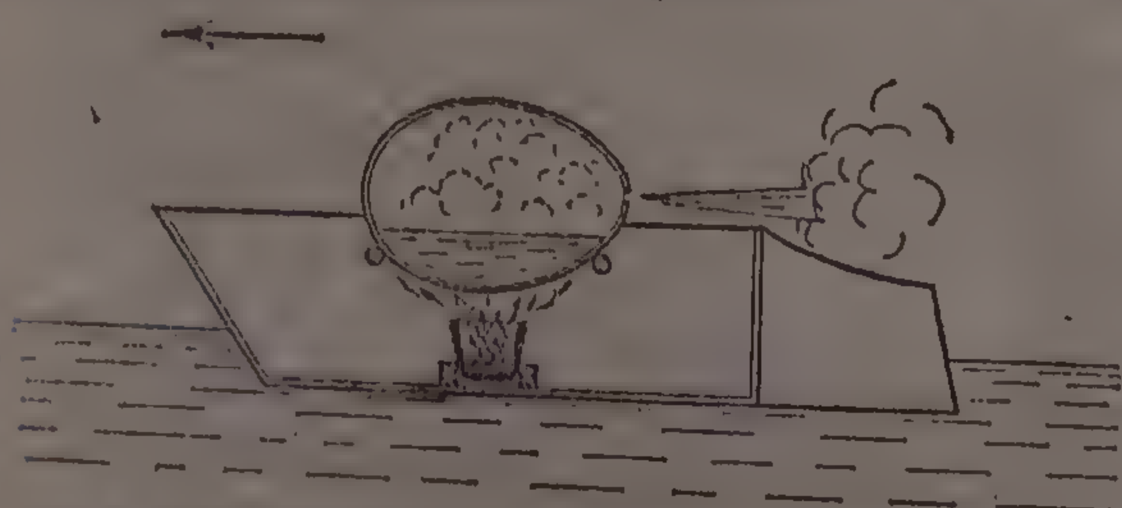


Рис. 9. Игрушечный пароходик из бумаги и яичной скорлупы.

Геронова паровая турбина в древности оставалась только любопытной игрушкой, так как дешевизна труда рабов никого не побуждала к практическому использованию машин. Но сам принцип не заброшен техникой: он применяется при устройстве реактивных турбин.

Ньютону — автору закона действия и противодействия — приписывают один из самых ранних проектов парового автомобиля, основанный на том же начале: пар из котла, поставленного на колеса, вырывается в одну сторону, а сам котел в силу отдачи катится в противоположную (рис. 8).

Ракетные автомобили, об опытах с которыми в 1928 г. много писали в газетах и журналах, представляли собой видоизменение ньютоновой повозки.

Для любителей мастерить на рис. 9 показан бумажн… пароходик [9]), также очень похожий на ньютонову пов… ку: в паровом котле из опорожненного яйца, нагреваем… намоченной в спирте ваткой в наперстке, образуется па…; вырываясь струей в одну сторону, он заставляет весь па… роходик двигаться в противоположную сторону. Для с… оружения этой поучительной игрушки нужны, однако, очень искусные руки.

Как движется каракатица?

Вам странно будет услышать, что есть немало живых существ, для которых мнимое «поднятие самого себя за волосы» является обычным способом их перемещения в воде.

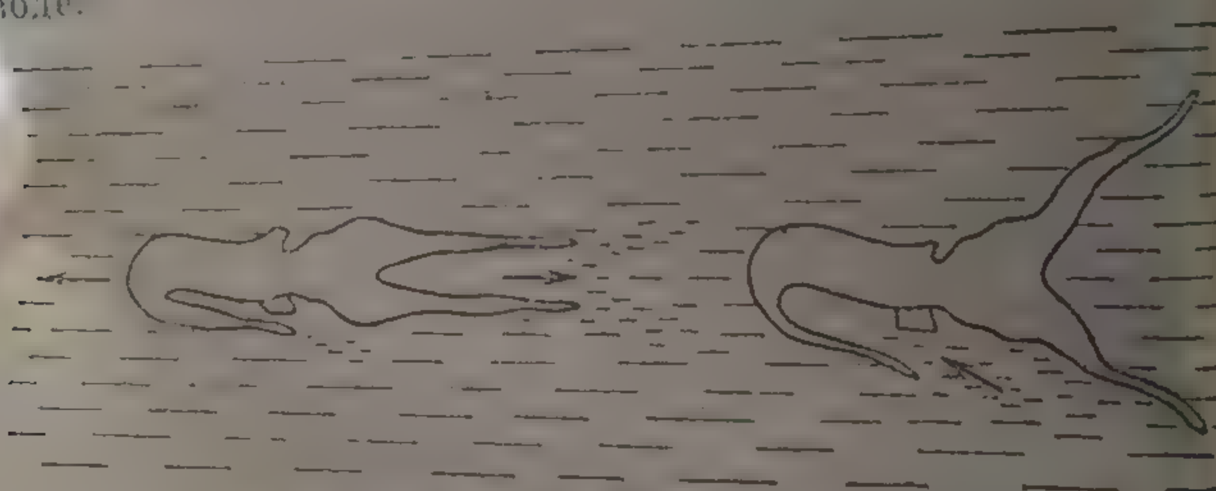


Рис. 10. Плавательное движение каракатицы.

Каракатица (рис. 10) и вообще большинство головоногих моллюсков движутся в воде таким образом: забирают воду в жаберную полость через боковую щель и особую воронку впереди тела, а затем энергично выбрасывают струю воды через упомянутую воронку; при этом они — по закону противодействия — получают обратный толчок, достаточный для того, чтобы довольно быстро плавать задней частью тела вперед. Каракатица может, впрочем, направить трубку воронки вбок или назад и, стремительно выдавливая из нее воду, двигаться в любом направлении.

На том же основано и движение медузы: сокращением мускулов она выталкивает из-под своего колоколообразного тела воду, получая толчок в обратном направлении. Сходным приемом пользуются при движении сальпы, личинки стрекоз и другие водные животные. А мы еще сомневались, можно ли так двигаться [1])!

К звездам на ракете [8])

Что может быть заманчивее, чем покинуть земной шар и путешествовать по необъятной Вселенной, перелетать с Земли на Луну, с планеты на планету? Сколько фантастических романов написано на эту тему! Кто только не увлекал нас в воображаемое путешествие по небесным светилам! Вольтер в «Микромегасе», Жюль Верн в «Путешествии на Луну» и «Гекторе Сервадаке», Уэллс в «Первых людях на Луне» и множество их подражателей совершили интереснейшие путешествия на небесные светила,— конечно, в мечтах.

Неужели же нет возможности осуществить эту давнишнюю мечту? Неужели все остроумные проекты, с таким заманчивым правдоподобием изображенные в романах, на самом деле неисполнимы? В дальнейшем мы будем еще беседовать о фантастических проектах межпланетных путешествий; теперь же познакомимся с реальным проектом подобных перелетов, впервые предложенным нашим соотечественником К. Э. Циолковским.

Можно ли долететь до Луны на самолете? Конечно, нет: самолеты движутся только потому, что опираются о воздух, отталкиваются от него, а между Землей и Луной воздуха нет. В мировом пространстве вообще нет достаточно плотной среды, на которую мог бы опереться «межпланетный самолет». Значит, надо придумать такой аппарат, который способен был бы двигаться и управляться, ни на что не опираясь.

Мы знакомы уже с подобным снарядом в виде игрушки — с ракетой. Отчего бы не устроить огромную ракету, с особым помещением для людей, съестных припасов, баллонов с воздухом и всем прочим? Вообразите, что люди в ракете везут с собой большой запас горючих веществ и могут направлять истечение взрывных газов в любую сторону. Вы получите настоящий управляемый межпланетный корабль, на котором можно плыть в океане мирового пространства, полететь на Луну, на планеты... Пассажиры смогут, управляя взрывами, увеличивать скорость этого межпланетного корабля с необходимой постепенностью, чтобы возрастание скорости было для них безвредно. При желании спуститься на какую-нибудь планету они смогут, повернув свой корабль, постепенно уменьшить скорость снаряда и тем ослабить падение. Наконец, пассажиры смогут таким же способом возвратиться и на Землю.

ГЛАВА ВТОРАЯ

СИЛА. РАБОТА. ТРЕНИЕ

Задача о лебеде, раке и щуке

История о том, как «лебедь, рак да щука везти с поклажей воз взялись», известна всем. Но едва ли кто пробовал рассматривать эту басню с точки зрения механики. Результат получается вовсе не похожий на вывод баснописца Крылова.

Перед нами задача на сложение нескольких сил, действующих под углом одна к другой. Направления сил определены в басне так:

...Лебедь рвется в облака,
Рак пятится назад, а щука тянет в воду.

Это значит (рис. 11), что одна сила, тяга лебедя (OA), направлена вверх; другая, тяга щуки (OB),— вбок; третья, тяга рака (OC),— назад. Не забудем, что существует еще четвертая сила, сила тяжести, которая направлена отвесно вниз [1]). Басня утверждает, что «воз и ныне там», другими словами, что равнодействующая всех приложенных к возу сил равна нулю.

Так ли это? Посмотрим. Лебедь, рвущийся к облакам, не мешает работе рака и щуки, даже помогает им: тяга лебедя, направленная против силы тяжести, уменьшает трение колес о землю и об оси, облегчая тем вес воза, а может быть, даже вполне уравновешивая его,— ведь груз невелик («поклажа бы для них казалась и легка»). Допустив для простоты последний случай, мы видим, что остаются только две силы: тяга рака и тяга щуки. О направлении этих сил говорится, что «рак пятится назад, а щука тянет в воду». Само собой разумеется, что вода находилась не впереди воза, а где-нибудь сбоку (не потопить же воз собрались крыловские труженики!). Значит, силы рака и щуки направлены под углом одна к другой. Если приложенные силы не лежат на одной прямой, то равнодействующая их никак не может равняться нулю.

Поступая по правилам механики, строим на силах OB и OC параллелограмм сил, диагональ его OD дает равнодействующую силу. Ясно, что эта равнодействующая должна сдвинуть воз с места, тем более, что вес его полностью или частично уравновешивается тягой лебедя. Другой вопрос — в какую сторону сдвинется воз: вперед, назад или вбок? Это зависит уже от соотношения сил и от угла между ними.

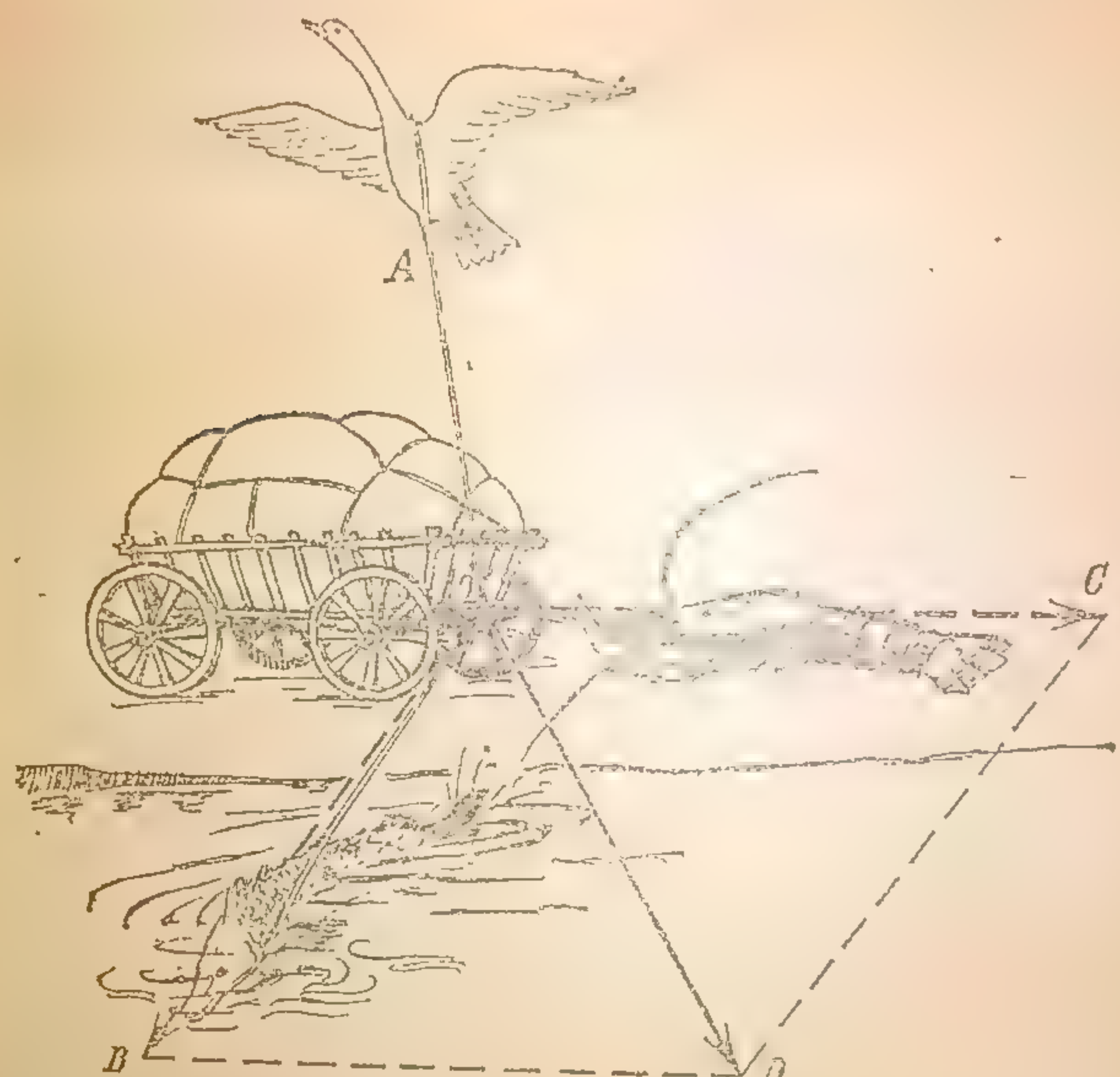


Рис. 11. Задача о крыловских лебеде, раке и щуке. Равнодействующая сила (OD) должна увлекать воз в реку.

Читатели, имеющие некоторую практику в сложении и разложении сил, легко разберутся и в том случае, когда сила лебедя не уравновешивает веса воза; они убедятся, что воз и тогда не может оставаться неподвижным. При одном только условии воз может не сдвинуться под действием этих трех сил: если трение у его осей и о полотно дороги больше, чем приложенные усилия. Но это не согласуется с утверждением, что «поклажа бы для них казалась и легка».

Во всяком случае, Крылов не мог с уверенностью утверждать, что «возу все нет ходу», что «воз и ныне там». Это, впрочем, не меняет смысла басни.

Вопреки Крылову

Мы только что видели, что житейское правило Крылова: «когда в товарищах согласья нет, на лад их дело не пойдет» — не всегда применимо в механике. Силы могут быть направлены не в одну сторону и, несмотря на это, давать известный результат.

Мало кто знает, что усердные труженики — муравьи, которых тот же Крылов восхвалял как образцовых работников, трудятся совместно именно по способу, осмеянному баснописцем. И дело у них в общем идет на лад. Выручает опять закон сложения сил. Внимательно следя за муравьями во время работы, вы скоро убедитесь, что разумное сотрудничество их — только кажущееся: на деле каждый муравей работает сам для себя, вовсе не думая помогать другим.

Вот как описывает работу муравьев зоолог Е. Елачич в книге «Инстинкт»:

«Если крупную добычу тащит десяток муравьев по ровному месту, то все действуют одинаково, и получается видимость сотрудничества.



Рис. 12. Как муравьи волокут гусеницу.

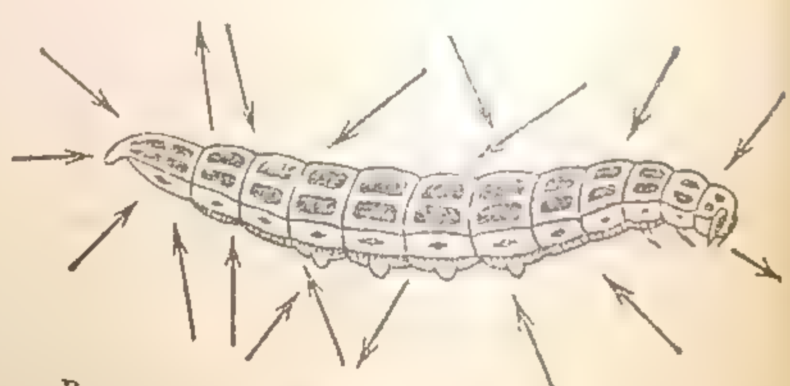


Рис. 13. Как муравьи тянут добычу.

Но вот добыча — например гусеница — зацепилась за какое-либо препятствие, за стебель травы, за камешек. Дальше вперед тащить нельзя, надо обогнуть. И тут с ясностью обнаруживается, что каждый муравей по-своему и ни с кем из товарищей не сообразуясь старается справиться с препятствием (рис. 12 и 13). Один тащит направо, другой налево; один толкает вперед, другой тянет назад. Переходят с места на место, хватаются за гусеницу в другом месте, и каждый толкает или тянет по-своему. Когда случится, что силы работающих сложатся так, что в одну сторону будут двигать гусеницу четыре муравья, а в другую шесть, то гусеница в конце концов движется именно в сторону этих шести муравьев, несмотря на противодействие четырех».

Приведем (заимствованный у другого исследователя) еще поучительный пример, наглядно иллюстрирующий

это мнимое сотрудничество муравьев. На рис. 14 изображен прямоугольный кусочек сыра, за который ухватилось двадцать пять муравьев. Сыр медленно продвигался к муравейнику, расположенному в направлении, указанном стрелкой A, и можно было бы думать, что передняя шеренга муравьев тянет ношу к себе, задняя — толкает ее вперед, боковые же муравьи помогают тем и другим. Однако это не так, в чем нетрудно убедиться: отделите ножом всю заднюю шеренгу, — ноша поползет гораздо быстрее! Ясно, что эти одиннадцать муравьев тянули назад, а не вперед: каждый из них старался повернуть ношу так, чтобы, пятясь назад, волочить ее к гнезду. Значит, задние муравьи не только не помогали передним, но усердно мешали им, уничтожая их усилия. Чтобы волочить этот кусочек сыра, достаточно было бы усилий всего четырех муравьев, но несогласованность действий приводит к тому, что ношу тащат двадцать пять муравьев.

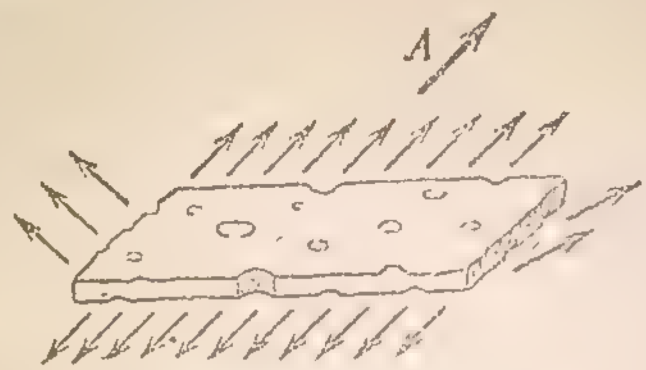


Рис. 14. Как муравьи двигают кусочек сыра к муравейнику, расположенному в направлении стрелки A.

Эта особенность совместных действий муравьев давно уже была подмечена Марком Твеном. Рассказывая о встрече двух муравьев, из которых один нашел ножку кузнечика, он говорит:

«Они берут ногу за оба конца и тянут изо всех сил в противоположные стороны. Оба видят, что что-то неладно, но что — не могут понять. Начинаются взаимные пререкания; спор переходит в драку... Происходит примирение, и снова начинается совместная и бессмысленная работа, причем раненый в драке товарищ является только помехой. Стараясь изо всей мочи, здоровый товарищ тащит ношу, а с ней и раненого друга, который вместо того, чтобы уступить добычу, висит на ней».

Шутя, Твен бросает совершенно правильное замечание, что «муравей хорошо работает только тогда, когда за ним наблюдает неопытный натуралист, делающий неверные выводы».

Легко ли сломать яичную скорлупу?

В числе философских вопросов, над которыми ломал свою мудрую голову глубокомысленный Кифа Мокиевич из «Мертвых душ», была такая проблема: «Ну, а если бы

слон родился в яйце, ведь скорлупа, чай, сильно бы толста была,— пушкой не прошибешь; нужно какое-нибудь новое огнестрельное орудие выдумать».

Гоголевский философ был бы, вероятно, немало изумлен, если бы узнал, что и обыкновенная *яичная* скорлупа, несмотря на тонкость,— тоже далеко не нежная вещь. Раздавить яйцо между ладонями, напирая на его концы, не так-то легко; нужно немалое усилие, чтобы сломать скорлупу при подобных условиях (рис. 15) *). Столь необычайная крепость яичной скорлупы зависит исключительно от ее выпуклой формы и объясняется так же, как и прочность всякого рода сводов и арок [2]).



Рис. 15. Чтобы раздавить яйцо в таком положении, требуется значительное усилие.

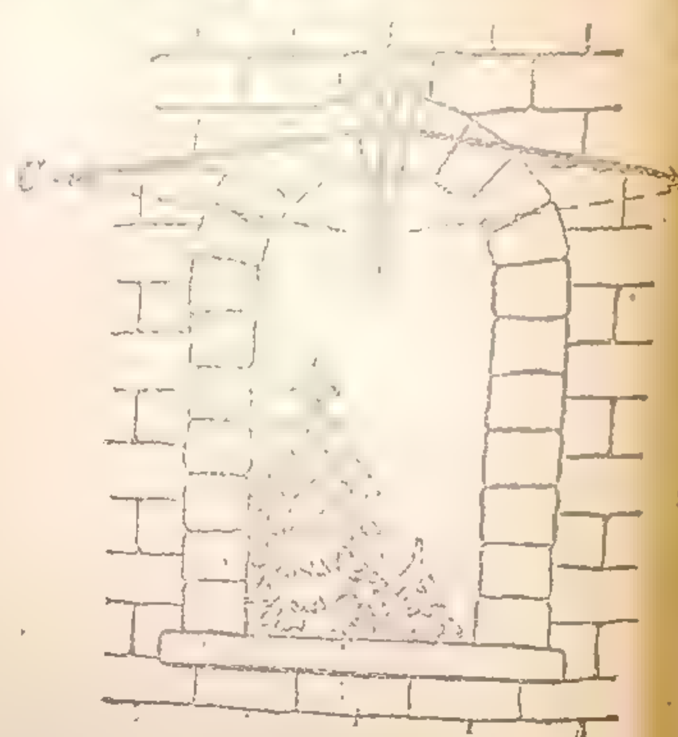


Рис. 16. Причина прочности сво

На рис. 16 изображен небольшой каменный свод над окном. Груз S (т. е. вышележащие части кладки), напирающий на клинообразный средний камень свода M, давит вниз с силой, которая обозначена на рисунке стрелкой A. Но сдвинуться вниз камень M не может вследствие своей клинообразной формы; он только давит на соседние камни. При этом сила A разлагается по правилу параллелограмма на две силы, обозначенные стрелками C и B; они уравновешиваются сопротивлением прилегающих камней, в свою очередь зажатых между соседними. Таким образом, сила, давящая на свод снаружи, не может его разрушить. Зато сравнительно легко разрушить его силой, действующей изнутри. Это и понятно, так как клинообразная форма камней, мешающая им *опускаться*, нисколько не препятствует им *подниматься*.

*) Опыт представляет некоторую опасность (скорлупа может вонзиться в руку) и требует осмотрительности.

Скорлупа яйца — тот же свод, только сплошной, а не составленный из отдельных частей. При давлении *снаружи* он разрушается не так легко, как можно было бы ожидать от такого хрупкого материала. Можно поставить довольно тяжелый стол ножками на четыре сырых яйца — и они не раздавятся. (Для устойчивости яиц и увеличения площади давления надо снабдить яйца на концах гипсовыми подставками; гипс легко пристает к известковой скорлупе.)

Теперь вы понимаете, почему наседка не опасается сломать скорлупу яиц тяжестью своего тела. И в то же время слабый птенчик, желая выйти из природной темницы, без труда пробивает клювиком скорлупу *изнутри*.



С легкостью разламывая скорлупу яйца боковым ударом чайной ложечки, мы и не подозреваем, как прочна она, когда давление действует на нее при естественных условиях, и какой надежной броней оградила природа развивающееся в ней живое существо.

Загадочная прочность электрических лампочек, казалось бы столь нежных и хрупких, объясняется так же, как и прочность яичной скорлупы. Их крепость покажется еще поразительнее, если вспомнить, что многие из них (вакуумные, а не газополные) — почти *абсолютно пусты* и ничто *изнутри* не противодействует давлению внешнего воздуха. А сила давления воздуха на электрическую лампочку немалая: при поперечнике в 10 см лампочка сдавливается с обеих сторон силой более 75 кгс (вес человека). Опыт показывает, что вакуумная электрическая лампочка способна выдержать даже в 2,5 раза большее давление.

Под парусами против ветра

Трудно представить себе, как могут парусные суда идти «против ветра» — или, по выражению моряков, идти «в бейдевинд». Правда, моряк скажет вам, что прямо против ветра идти под парусами нельзя, а можно двигаться лишь под острым углом к направлению ветра [3]). Но угол этот мал — около четверти прямого угла,— и представляется, пожалуй, одинаково непонятным: плыть ли прямо против ветра или под углом к нему в 22°.

На деле это, однако, не безразлично, и мы сейчас объясним, каким образом можно силой ветра идти навстречу ему под небольшим углом. Сначала рассмотрим, как вообще действует ветер на парус, т. е. куда он толкает парус,

когда дует на него. Вы, вероятно думаете, что ветер всегда толкает парус в ту сторону, куда сам дует. Но это не так: куда бы ветер ни дул, он толкает парус перпендикулярно к плоскости паруса.

В самом деле. Пусть ветер дует в направлении, указанном стрелками на рис. 17, линия AB изображает парус. Так как ветер напирает равномерно на всю поверхность паруса, то заменяем силу давления ветра силой R, приложенной к середине паруса. Эту силу разложим на две: силу Q, перпендикулярную к парусу, и силу P, направленную вдоль него вперед. Сила P никуда не толкает парус, так как трение ветра о холст незначительно. Остается сила Q, которая толкает парус под прямым углом к нему.

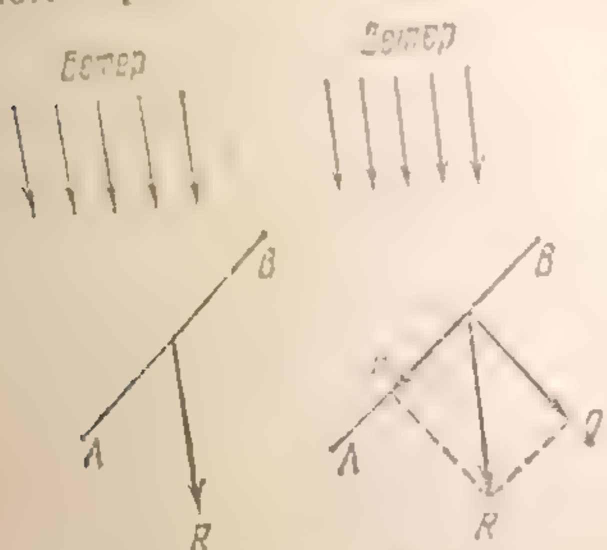


Рис. 17. Ветер толкает парус всегда под прямым углом к его плоскости.

Зная это, мы легко поймем, как может парусное судно идти под острым углом навстречу ветру. Пусть линия KK

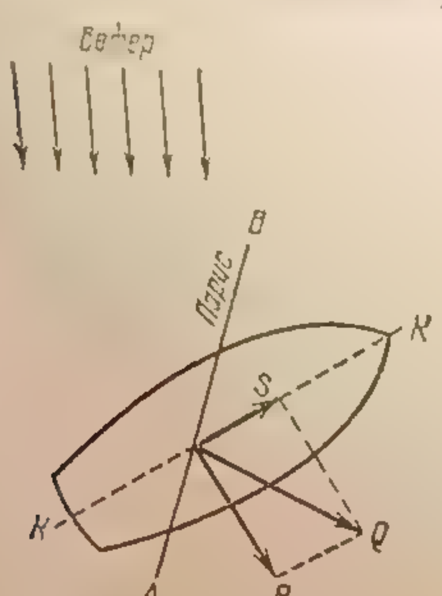


Рис. 18. Как можно идти на парусах против ветра.

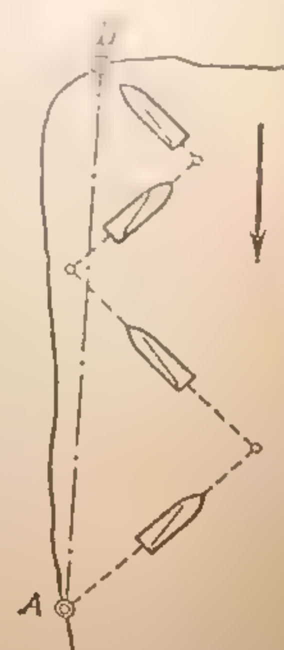


Рис. 19. Лавировка парусного судна.

(рис. 18) изображает килевую линию судна. Ветер дует под острым углом к этой линии в направлении, указанном стрелками. Линия AB изображает парус; его помещают

так, чтобы плоскость его делила пополам угол между направлением киля и направлением ветра. Проследите на рис. 18 за разложением сил. Напор ветра на парус мы изображаем силой Q, которая, мы знаем, должна быть перпендикулярна к парусу. Силу эту разложим на две: силу R, перпендикулярную к килю, и силу S, направленную вперед, вдоль килевой линии судна. Так как движение судна в направлении R встречает сильное сопротивление воды (киль в парусных судах делается очень глубоким), то сила R почти полностью уравновешивается сопротивлением воды. Остается одна лишь сила S, которая, как видите, направлена вперед и, следовательно, двигает судно под углом, как бы навстречу ветру *). Обычно это движение выполняется зигзагами, как показано на рис. 19. На языке моряков такое движение судна называется «лавировкой» в полном смысле слова *).

Мог ли Архимед поднять Землю?

«Дайте мне точку опоры, и я подниму Землю!» — такое восклицание легенда приписывает Архимеду, гениальному механику древности, открывшему законы рычага. «Однажды Архимед,— читаем мы у Плутарха,— написал сиракузскому царю Гиерону, которому он был родственник и друг, что данной силой можно подвинуть какой угодно груз. Увлеченный силой доказательств, он прибавил, что если бы была другая Земля, он, перейдя на нее, сдвинул бы с места нашу».

Архимед знал, что нет такого груза, который нельзя было бы поднять самой слабой силой, если воспользоваться рычагом: стоит только приложить эту силу к очень длинному плечу рычага, а короткое плечо заставить действовать на груз. Поэтому он и думал, что, напирая на чрезвычайно длинное плечо рычага, можно силой рук поднять и груз, масса которого равна массе земного шара (рис. 20) **).

Но если бы великий механик древности знал, как огромна масса земного шара, он, вероятно, воздержался

*) Можно доказать, что сила S получает наибольшее значение тогда, когда плоскость паруса делит пополам угол между направлениями киля и ветра.

**) Под выражением «поднять Землю» мы будем подразумевать — чтобы внести определенность в задачу — поднятие *на земной поверхности* такого груза, масса которого равна массе нашей планеты.

бы от своего горделивого восклицания. Вообразим на мгновение, что Архимеду дана та «другая Земля», та точка опоры, которую он искал; вообразим далее, что он изготовил рычаг нужной длины. Знаете ли, сколько времени понадобилось бы ему, чтобы груз, равный по массе земному шару, поднять хотя бы на 1 см?

Не менее тридцати тысяч биллионов лет!

В самом деле. Масса Земли известна *); тело с такой массой весило бы на Земле круглым счетом

$$6 \cdot 10^{24} \text{ кгс.}$$

Если человек может непосредственно поднять груз весом 60 кгс, то, чтобы «поднять Землю», ему понадобится

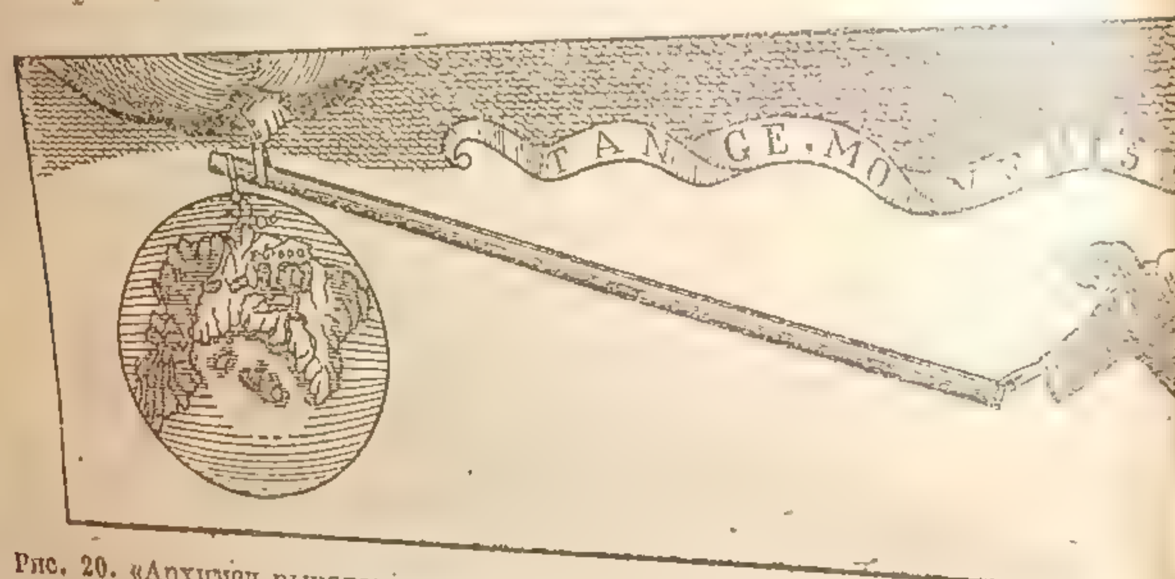


Рис. 20. «Архимед рычагом поднимает Землю» (гравюра из книги Варньона (1787 г.) о механике).

приложить свои руки к длинному плечу рычага, которое больше короткого в

$$10^{23} \text{ раз!}$$

Простой расчет убедит вас, что, пока конец короткого плеча поднимается на 1 см, другой конец опишет во Вселенной огромную дугу в

$$10^{18} \text{ км.}$$

Такой невообразимо длинный путь должна была бы пройти рука Архимеда, налегающая на рычаг, чтобы «поднять Землю» только на 1 см! Сколько же времени понадобится для этого? Если считать, что Архимед способен был поднять груз весом 60 кгс на высоту 1 м за 1 секунду, то и

*) О том, как она была определена, см. «Занимательную астрономию».

тогда для «поднятия Земли» на 1 см потребуется

$$10^{21} \text{ секунд},$$

или тридцать тысяч биллионов лет! За всю свою долгую жизнь Архимед, напирая на рычаг, не «поднял бы Земли» даже на толщину тончайшего волоса...

Никакие ухищрения гениального изобретателя не помогли бы ему заметно сократить этот срок. «Золотое правило механики» гласит, что на всякой машине выигрыш в силе неизбежно сопровождается соответствующей потерей в длине перемещения, т. е. во времени. Если бы даже Архимед довел быстроту своей руки до величайшей скорости, какая возможна в природе,— до 300 000 км/с (скорость света), то и при таком фантастическом допущении он «поднял бы Землю» на 1 см лишь после десяти миллионов лет работы.

Жюль-верновский силач и формула Эйлера

Вы помните у Жюля Верна силача-атлета Матифу? «Великолепная голова, пропорциональная исполинскому росту; грудь, похожая на кузнечный мех; ноги — как хорошие бревна, руки — настоящие подъемные краны, с кулаками, похожими на молоты...» Вероятно, из подвигов этого силача, описанных в романе «Матиас Сандорф», вам памятен поразительный случай с судном «Трабоколо», когда наш гигант силой могучих рук задержал спуск целого корабля.

Вот как рассказывает романист об этом подвиге:

«Судно, освобожденное уже от подпорок, которые поддерживали его по бокам, было готово к спуску. Достаточно было отнять швартов, чтобы судно начало скользить вниз. Уже с полдюжины плотников возились под килем судна. Зрители с живым любопытством следили за операцией. В этот момент, обогнув береговой выступ, появилась увеселительная яхта. Чтобы войти в порт, яхта должна была пройти перед верфью, где подготовляли спуск «Трабоколо», и, как только она подала сигнал, пришлось, во избежание всяких случайностей, задержать спуск, чтобы снова приняться за дело после прохода яхты в канал. Если бы суда,— одно, стоявшее поперек, другое, подвигающееся с большой быстротой,— столкнулись, яхта погибла бы.

Рабочие перестали стучать молотками. Все взоры были устремлены на грациозное судно, белые паруса которого казались позолоченными в косых лучах солнца. Скоро яхта очутилась как раз против верфи, где замерла тысячная толпа любопытных. Вдруг раздался крик ужаса: «Трабоколо» закачалось и пришло в движение в тот самый момент, когда яхта повернулась к нему штирбортом! Оба

2*

судна готовы были столкнуться; не было ни времени, ни возможности помешать этому столкновению. «Трабоколо» быстро скользило вниз по наклону... Белый дымок, появившийся вследствие трения, закрутился перед его носом, тогда как корма погрузилась уже в воду бухты (судно спускалось кормой вперед.— *Я. П.*).

Вдруг появляется человек, схватывает швартов, висящий у передней части «Трабоколо», и старается удержать его, пригнувшись к земле. В одну минуту он наматывает швартов на вбитую в землю железную трубу и, рискуя быть раздавленным, держит с нечеловеческой силой в руках канат в продолжение 10 секунд. Наконец швартов обрывается. Но этих 10 секунд было достаточно: «Трабоколо», погрузившись в воду, только слегка задело яхту и пронеслось вперед.

Яхта была спасена. Что касается человека, которому никто не успел даже прийти на помощь,— так быстро и неожиданно все это произошло,— то это был Матифу».

Как изумился бы автор романа, если бы ему сказали, что для совершения подобного подвига не нужно вовсе быть великаном и обладать, как Матифу, «силой тигра». Каждый находчивый человек мог бы сделать то же самое!

Механика учит, что при скольжении каната, навитого на тумбу, сила трения достигает большой величины. Чем больше число оборотов каната, тем трение больше; правило возрастания трения таково, что, с увеличением числа оборотов в прогрессии арифметической, трение растет в прогрессии геометрической. Поэтому даже слабый ребенок, держа за свободный конец каната, 3—4 раза навитый на неподвижную тумбу, может уравновесить огромную силу.

На речных пароходных пристанях подростки останавливают этим приемом подходящие к пристаням пароходы с сотней пассажиров. Помогает им не феноменальная сила их рук, а трение каната о тумбу.

Знаменитый математик XVIII века Эйлер установил зависимость силы трения от числа оборотов веревки вокруг сваи. Для тех, кого не пугает сжатый язык алгебраических выражений, приводим эту поучительную формулу Эйлера:

$$F = fe^{k\alpha}.$$

Здесь F — сила, против которой направлено наше усилие f, $e=2,718...$ — основание натуральных логарифмов, k — коэффициент трения между веревкой и сваей, α — «угол навивания», т. е. отношение длины дуги, охваченной веревкой, к радиусу этой дуги.

Применим формулу к случаю, который описан у Жюля Верна. Результат получится поразительный. Силой f

в данном случае является сила тяги судна, скользящего по доку. Вес судна из романа известен: 50 тс. Пусть уклон стапеля 1/10: тогда на канат действовал не полный вес судна, а 1/10 его, т. е. 5 тс, или 5000 кгс.

Далее, коэффициент трения каната о железную тумбу k будем считать равным 1/3. Угол α легко определим, если примем, что Матифу обвил канат вокруг тумбы всего три раза. Тогда

$$\alpha = \frac{3 \cdot 2\pi r}{r} = 6\pi,$$

где r — радиус тумбы. Подставив все эти значения в приведенную выше формулу Эйлера, получим уравнение

$$5000 = f \cdot 2{,}72^{6\pi \cdot 1/3} = f \cdot 2{,}72^{2\pi}.$$

Неизвестное f (т. е. необходимое усилие) можно определить из этого уравнения, прибегнув к помощи логарифмов:

$$\lg 5000 = \lg f + 2\pi \lg 2{,}72, \text{ откуда } f = 9{,}3 \text{ кгс}.$$

Итак, чтобы совершить подвиг, великану достаточно было тянуть канат с силой лишь 10 кгс!

Не думайте, что эта цифра — 10 кгс — только теоретическая и что на деле потребуется усилие гораздо большее. Напротив, наш результат даже преувеличен: при пеньковом канате и деревянной тумбе, когда коэффициент трения k больше, усилие потребуется до смешного ничтожное, лишь бы тумба была прочной и канат был достаточно крепким и мог выдержать натяжение. Вот почему даже слабый ребенок мог бы, навив канат 3—4 раза, не только повторить подвиг жюль-верновского богатыря, но и превзойти его.

От чего зависит крепость узлов?

В обыденной жизни мы, сами не подозревая, часто пользуемся выгодой, на которую указывает нам формула Эйлера. Что такое узел, как не бечевка, навитая на валик, роль которого в данном случае играет другая часть той же бечевки? Крепость всякого рода узлов — обыкновенных, «беседочных», «морских», завязок, бантов и т. п. — зависит исключительно от трения, которое здесь во много раз усиливается вследствие того, что бечевка обвивается вокруг себя, как канат вокруг тумбы. В этом нетрудно

убедиться, проследив за изгибами шнурка в узле. Чем больше изгибов, чем больше раз шнурок обвивается вокруг себя — тем больше «угол навивания», тем крепче узел.

Бессознательно пользуется тем же обстоятельством и портной, пришивая пуговицу. Он много раз обматывает нитку вокруг захваченного стежком материала и затем обрывает ее; если только нитка прочна, пуговица не отпорется. Здесь применяется уже знакомое нам правило: с увеличением числа оборотов нитки в прогрессии арифметической крепость шитья возрастает в прогрессии геометрической.

Если бы не было трения, мы не могли бы пользоваться пуговицами: нитки размотались бы под их тяжестью и пуговицы отвалились бы.

Если бы не было трения

Вы видите, как разнообразно и порой неожиданно проявляется трение в окружающей нас обстановке. Трение принимает участие, и притом весьма существенное, там, где мы о нем даже и не подозреваем. Если бы трение внезапно исчезло из мира, множество обычных явлений протекало бы совершенно иным образом [5].

Очень красочно пишет о роли трения французский физик Гильом:

«Всем нам случалось выходить в гололедицу: сколько усилий стоило нам удерживаться от падения, сколько смешных движений приходилось нам проделывать, чтобы устоять! Это заставляет нас признать, что обычно земля, по которой мы ходим, обладает драгоценным свойством, благодаря которому мы сохраняем равновесие без особых усилий. Та же мысль возникает у нас, когда мы едем на велосипеде по скользкой мостовой или когда лошадь скользит по асфальту и падает. Изучая подобные явления, мы приходим к открытию тех следствий, к которым приводит трение. Инженеры стремятся по возможности устранить его в машинах — и хорошо делают. В прикладной механике о трении говорится как о крайне нежелательном явлении, и это правильно, — однако лишь в узкой специальной области. Во всех прочих случаях мы должны быть благодарны трению: оно дает нам возможность ходить, сидеть и работать без опасения, что книги и чернильница упадут на пол, что стол будет скользить, пока не упрется в угол, а перо выскользнет из пальцев.

Трение — это настолько распространенное явление, что нам, за редкими исключениями, не приходится призывать его на помощь: оно является к нам само.

Трение способствует устойчивости. Плотники выравнивают пол так, что столы и стулья остаются там, куда их поставили. Блюда,

тарелки, стаканы, поставленные на стол, остаются неподвижными без особых забот с нашей стороны, если только дело не происходит на пароходе во время качки.

Вообразим, что трение может быть устранено совершенно. Тогда никакие тела, будь они величиной с каменную глыбу или малы, как песчинки, никогда не удержатся одно на другом: все будет скользить и катиться, пока не окажется на одном уровне. Не будь трения, Земля представляла бы шар без неровностей, подобно жидкому».

К этому можно прибавить, что при отсутствии трения гвозди и винты выскальзывали бы из стен, ни одной вещи нельзя было бы удержать в руках, никакой вихрь никогда бы не прекращался, никакой звук не умолкал бы, а звучал бы бесконечным эхом, неослабно отражаясь, например, от стен комнаты.

Наглядный урок, убеждающий нас в огромной важности трения, дает нам всякий раз гололедица. Застигнутые ею на улице, мы оказываемся беспомощными и все время рискуем упасть. Вот поучительные выдержки из газет (декабрь 1927 г.):

«Лондон, 21. Вследствие сильной гололедицы уличное и трамвайное движение в Лондоне заметно затруднено. Около 1400 человек поступило в больницы с переломами рук, ног...».

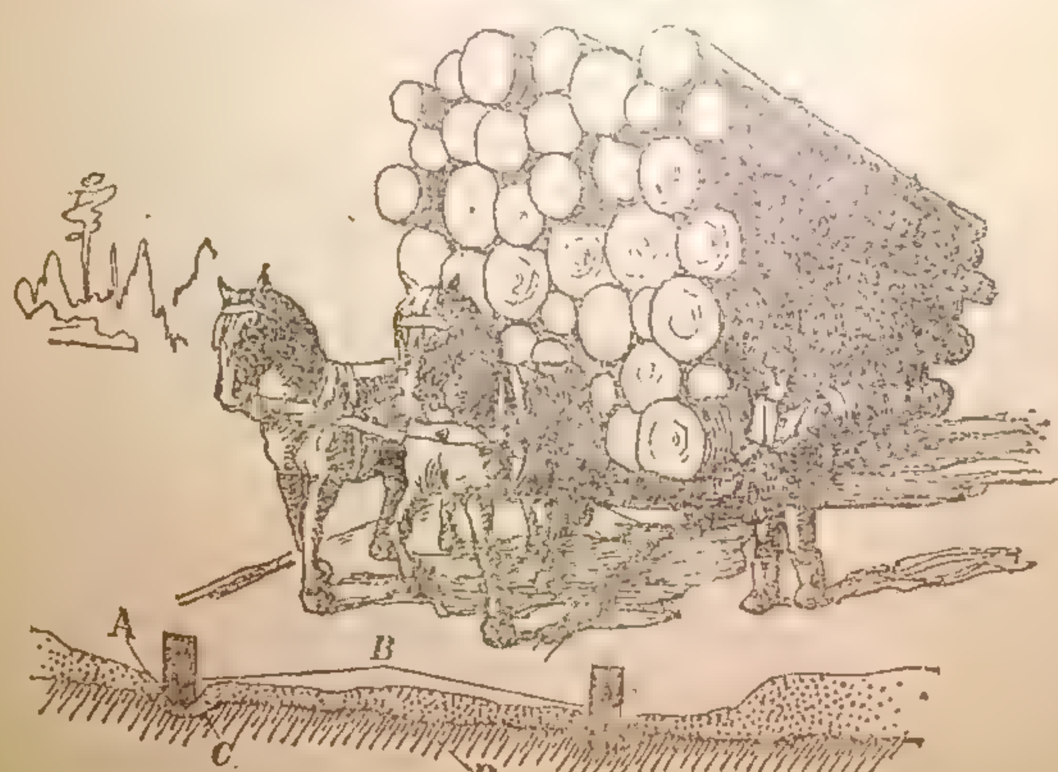


Рис. 21. Нагруженные сани на ледяной дороге: *A* — колея, *B* — полоз, *C* — уплотненный снег, *D* — земляное основание дороги.

«При столкновении вблизи Гайд-Парка трех автомобилей и двух трамвайных вагонов машины были совершенно уничтожены из-за взрыва бензина...»

«Париж, 21. Гололедица в Париже и его пригородах вызвала многочисленные несчастные случаи...»

Однако ничтожное трение на льду может быть успешно использовано технически. Уже обыкновенные сани служат тому примером. Еще лучше свидетельствуют об этом так называемые ледяные дороги, которые устраивали для вывозки леса с места рубки к железной дороге или к пунктам сплава. На такой дороге, имеющей гладкие ледяные рельсы, две лошади тащат сани, нагруженные 70 тоннами бревен (рис. 21).

Физическая причина катастрофы «Челюскина»

Из сказанного выше не следует делать поспешного вывода, что трение о лед ничтожно при всяких обстоятельствах. Даже при температуре, близкой к нулю, трение о лед бывает нередко довольно значительным. В связи с работой ледоколов тщательно изучалось трение льда полярных морей о стальную обшивку корабля. Оказалось, что оно неожиданно велико, не меньше трения железа по железу: коэффициент трения новой стальной судовой обшивки о лед равен 0,2.

Чтобы понять, какое значение имеет эта цифра для судов при плавании во льдах, разберемся в силах, действующих на борт MN судна при напоре льда (рис. 22). Сила P давления льда разлагается на две: силу R, перпендикулярную к борту, и силу F, направленную по касательной к борту. Угол между P и R равен углу α наклона борта к вертикали. Сила Q трения льда о борт равна силе R, умноженной на коэффициент трения, т. е. на 0,2: $Q=0{,}2R$. Если сила трения Q меньше F, сила F увлекает напирающий лед под воду *); лед скользит вдоль борта, не успевая причинить судну вред. Если же сила Q больше F, трение мешает скольжению льдины, и лед при продолжительном напоре может смять и продавить борт.

Когда же $Q<F$? Легко видеть, что $F=R\operatorname{tg}\alpha$; следовательно, должно существовать неравенство $Q<R\operatorname{tg}\alpha$, а так как $Q=0{,}2R$, то неравенство $Q<F$ приводит к другому:

$$0{,}2R < R\operatorname{tg}\alpha, \text{ или } \operatorname{tg}\alpha > 0{,}2.$$

По таблицам отыскиваем угол, тангенс которого 0,2; он равен 11°. Значит, $Q<F$ тогда, когда $\alpha>11°$. Тем самым определяется, какой наклон бортов корабля к вертикали обеспечивает безопасное плавание во льдах: наклон должен быть не меньше 11°.

Обратимся теперь к гибели «Челюскина». Этот пароход (не ледокол) успешно прошел весь северный морской путь, но в Беринговом проливе оказался зажатым во льдах. Льды унесли «Челюскин» далеко на север и раздавили (в феврале 1934 г.). Двухмесячное героическое пребывание челюскинцев на льдине и спасение их героями-

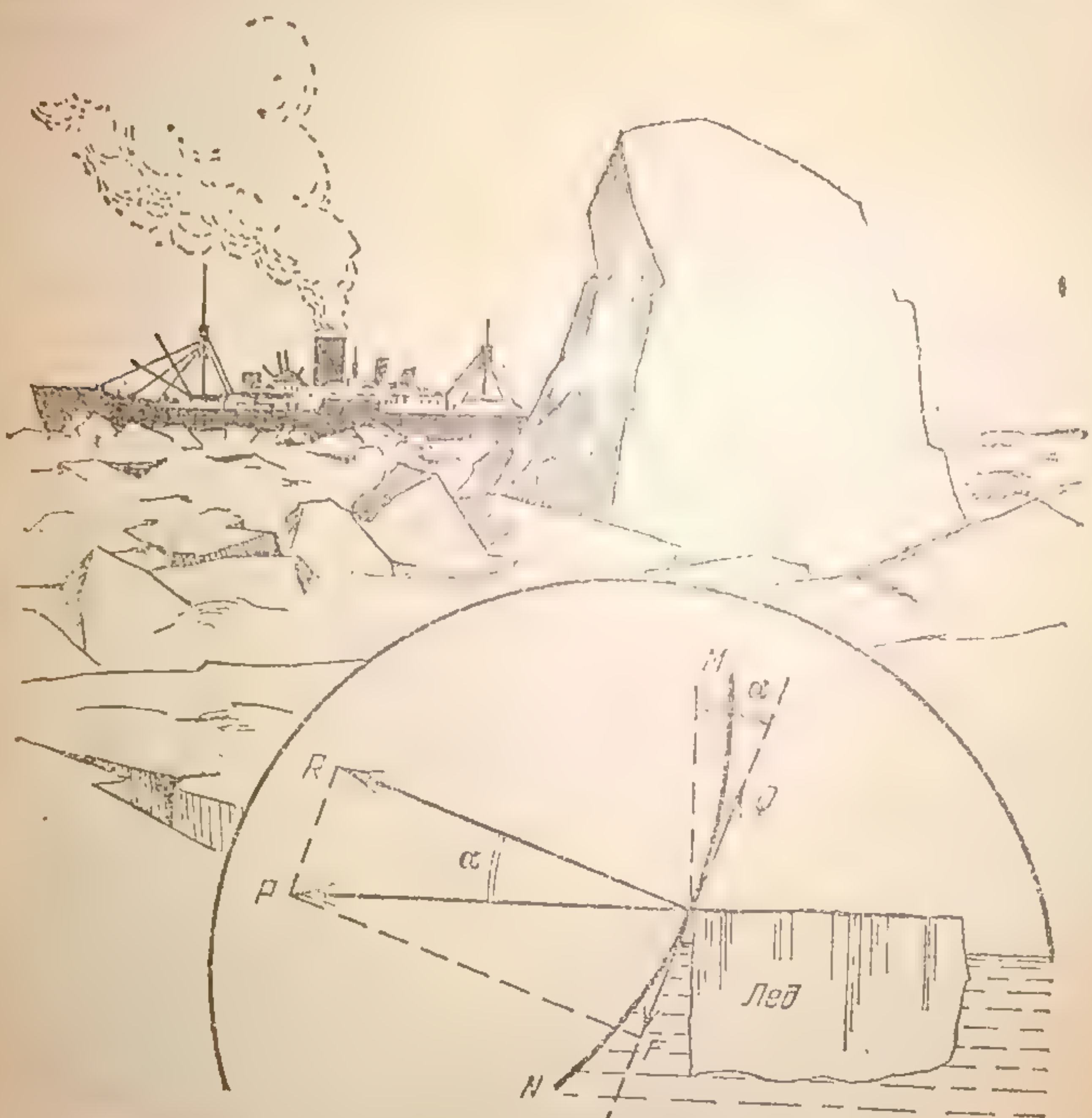


Рис. 22. «Челюскин», затертый во льдах. Внизу: силы, действующие на борт MN судна при напоре льда.

летчиками сохранилось у многих в памяти. Вот описание самой катастрофы:

«Крепкий металл корпуса сдал не сразу,— сообщал по радио начальник экспедиции О. Ю. Шмидт.— Видно было, как льдина вдавливается в борт и как над ней листы обшивки пучатся, изгибаясь наружу. Лед продолжал медленное, но неотразимое наступление. Вспученные железные листы обшивки корпуса разорвались по шву. С треском летели заклепки. В одно мгновение левый борт парохода был оторван от носового трюма до кормового конца палубы...»

После того, что сказано было в этой статье, читателю должна быть понятна физическая причина катастрофы.

Отсюда вытекают и практические следствия: при сооружении судов, предназначенных для плавания во льдах, необходимо придать бортам их надлежащий уклон, а именно не менее 11°.

Самоуравновешивающаяся палка

На указательные пальцы расставленных рук положите гладкую палку, как показано на рис. 23. Теперь двигайте пальцы навстречу друг другу, пока они не сойдутся вплотную.

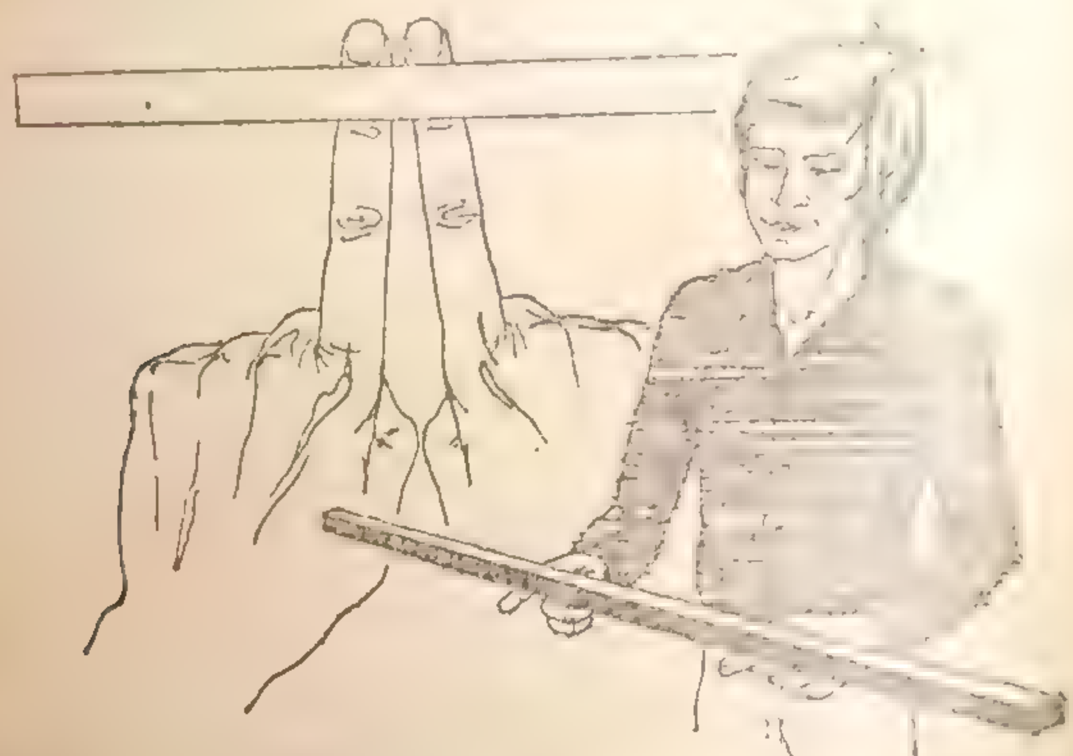


Рис. 23. Опыт с палкой.

Странная вещь! Окажется, что в этом окончательном положении палка не опрокидывается, а сохраняет равновесие. Вы проделываете опыт много раз, меняя первоначальное положение пальцев, но результат неизменно тот же: палка оказывается уравновешенной. Заменив палку чертежной линейкой, тростью с набалдашником, биллиардным кием, половой щеткой, — вы заметите ту же особенность.

В чем разгадка неожиданного финала?

Прежде всего ясно следующее: раз палка оказывается уравновешенной на сдвинутых пальцах, то ясно, что пальцы сошлись под центром тяжести палки. (Тело остается в равновесии, если отвесная линия, проведенная из центра тяжести, проходит внутри границ опоры.)

Когда пальцы раздвинуты, бо́льшая нагрузка приходится на тот палец, который ближе к центру тяжести палки. С давлением растет и трение: палец, более близкий к центру тяжести, испытывает большее трение, чем удален-

ный. Поэтому близкий к центру тяжести палец не скользит под палкой; двигается всегда тот палец, который дальше от этой точки. Как только двигавшийся палец окажется ближе к центру тяжести, нежели другой, пальцы меняются ролями; такой обмен совершается несколько раз, пока пальцы не сойдутся вплотную. И так как движется каждый раз только один из пальцев, именно тот, который дальше от центра тяжести, то естественно, что в конечном положении оба пальца сходятся под центром тяжести палки.

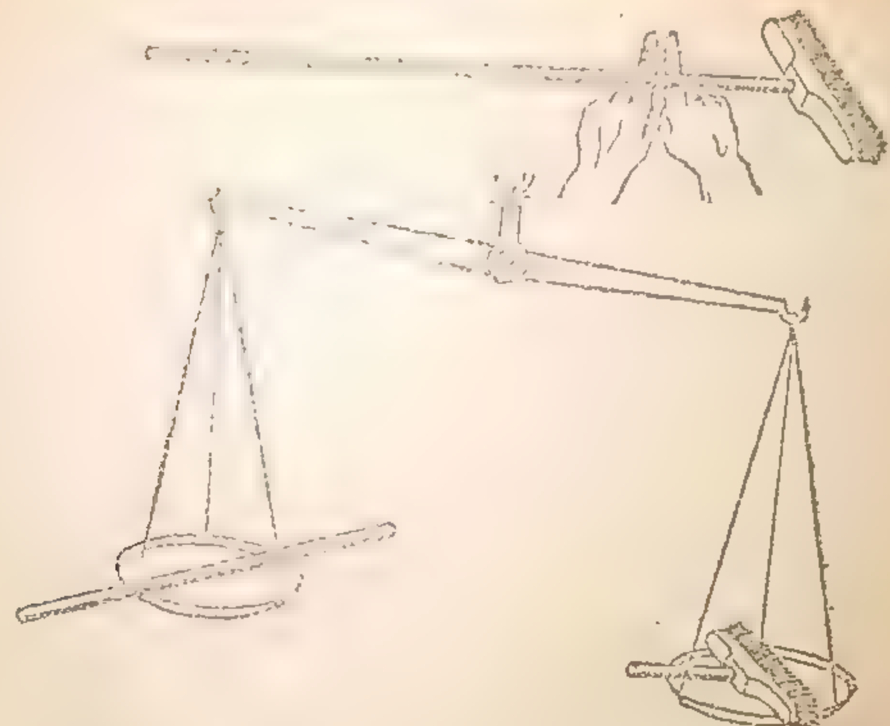


Рис. 24. Тот же опыт с половой щеткой. Почему весы не в равновесии?

Прежде чем с этим опытом покончить, повторите его с половой щеткой (рис. 24) и поставьте перед собой такой вопрос: если разрезать щетку в том месте, где она подпирается пальцами, и положить обе части на разные чашки весов, то какая чашка перетянет — с палкой или с щеткой?

Казалось бы, раз обе части щетки уравновешивали одна другую на пальцах, они должны уравновешиваться и на чашках весов. В действительности же чашка с щеткой перетянет. О причине нетрудно догадаться, если принять в расчет, что, когда щетка уравновешивалась на пальцах, силы веса обеих частей были приложены к неравным плечам рычага; в случае же весов те же силы приложены к концам равноплечего рычага.

Для «Павильона занимательной науки» 7) в Ленинградском парке культуры мною был заказан набор палок с различными положениями центра тяжести; палки разнимались на две обычно неравные части как раз в том месте, где находился центр тяжести. Кладя эти части на весы, посетители с удивлением убеждались, что короткая часть тяжелее длинной.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

КРУГОВОЕ ДВИЖЕНИЕ

Почему не падает вращающийся волчок?

Из тысяч людей, забавлявшихся в детстве с волчком, не многие смогут правильно ответить на этот вопрос. Как, в самом деле, объяснить то, что вращающийся волчок, поставленный отвесно или даже наклонно, не опрокидывается, вопреки ожиданиям? Какая сила удерживает его в таком, казалось бы, неустойчивом положении? Разве сила тяжести на него не действует?

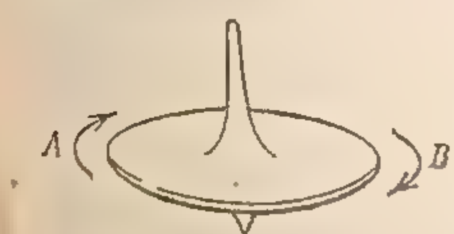


Рис. 25. Почему волчок не падает?

Здесь имеет место весьма любопытное взаимодействие сил. Теория волчка непроста, и углубляться в нее мы не станем. Укажем лишь основную причину, вследствие которой вращающийся волчок не падает.

На рис. 25 изображен волчок, вращающийся в направлении стрелок. Обратите внимание на часть *A* его ободка и на часть *B*, противоположную ей. Часть *A* стремится двигаться *от вас*, часть *B* — *к вам*. Проследите теперь, какое движение получают эти части, когда вы наклоняете ось волчка *к себе* (рис. 26). Толчком вы заставляете часть *A* двигаться вверх, часть *B* — вниз; обе части получают толчок под прямым углом к их собственному движению. Но так как при быстром вращении волчка круговая скорость частей диска очень велика, то сообщаемая вами незначительная скорость, складываясь с большой круговой скоростью точки, дает равнодействующую, весьма близкую

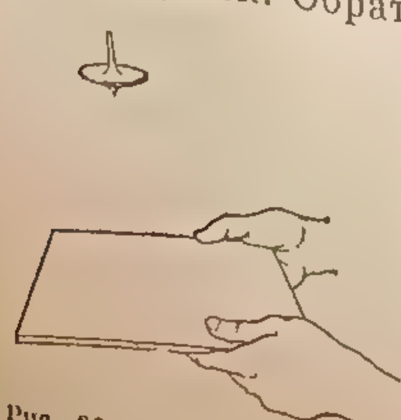


Рис. 26. Вращающийся волчок, будучи подброшен, сохраняет первоначальное направление своей оси.

к этой круговой, — и движение волчка почти не меняется. Отсюда понятно, почему волчок как бы сопротивляется попытке его опрокинуть. Чем массивнее волчок и чем быстрее он вращается, тем упорнее противодействует он опрокидыванию.

Сущность этого объяснения непосредственно связана с законом инерции. Каждая частица волчка движется по окружности в плоскости, перпендикулярной к оси вращения. По закону инерции частица в каждый момент стремится сойти с окружности на прямую линию, касательную к окружности. Но всякая касательная расположена в той же плоскости, что и сама окружность; поэтому каждая частица стремится двигаться так, чтобы все время оставаться в плоскости, перпендикулярной к оси вращения. Отсюда следует, что все плоскости в волчке, перпендикулярные к оси вращения, стремятся сохранить свое положение в пространстве, а поэтому и общий перпендикуляр к ним, т. е. сама ось вращения, также стремится сохранить свое направление.

Не будем рассматривать всех движений волчка, которые возникают при действии на него посторонней силы. Это потребовало бы чересчур подробных объяснений. Я хотел лишь разъяснить причину стремления всякого вращающегося тела сохранять неизменным направление оси вращения. Этим свойством широко пользуются в технике. Различные гироскопические (основанные на свойстве волчка) приборы — компасы, стабилизаторы и др. — устанавливаются на кораблях и самолетах [1]).

Таково полезное использование простой, казалось бы, игрушки.

Искусство жонглеров

Многие удивительные фокусы разнообразной программы жонглеров основаны тоже на свойстве вращающихся тел сохранять направление оси вращения (рис. 27 и 28). Позволю себе привести выдержку из увлекательной книги английского физика Джона Перри «Вращающийся волчок» [2]):

«Однажды я показывал некоторые из моих опытов перед публикой, пившей кофе и курившей табак в великолепном помещении концертного зала «Виктория» в Лондоне. Я старался заинтересовать моих слушателей, насколько мог, и рассказывал о том, что плоскому кольцу надо сообщить вращение, если его желают бросить так, чтобы можно было наперед указать, куда оно упадет; точно так же

поступают, если хотят кому-нибудь бросить шляпу так (рис. 29), чтобы он мог поймать этот предмет палкой. Всегда можно полагаться на сопротивление, которое оказывает вращающееся тело, когда изменяют направление его оси. Далее я объяснял моим слушателям, что, отполировав гладко дуло пушки, никогда нельзя рассчитывать на точность прицела; вследствие этого теперь делают нарезные дула, т. е. вырезают на внутренней стороне дула пушек спиралеобразные желоба, в которые приходятся выступы ядра или снаряда, так что последний должен получить вращательное движение, когда сила взрыва пороха заставляет его двигаться по каналу пушки. Благодаря этому снаряд покидает пушку с точно определенным вращательным движением.

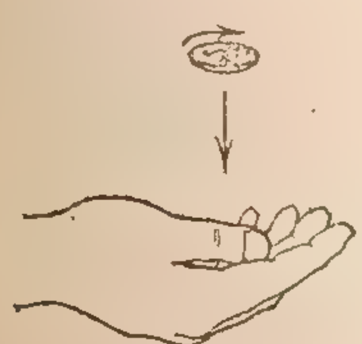


Рис. 27. Как летит монета, подброшенная с вращением.



Рис. 28. Монета, подброшенная без вращения, падает в случайном положении.

Это было все, что я мог сделать во время этой лекции, так как я не обладаю ловкостью в метании шляп или дисков. Но после того, как я закончил свою лекцию, на подмостки выступили два жонглера, — и я не мог пожелать лучшей иллюстрации упомянутых выше законов, нежели та, которую давал каждый отдельный фокус, показанный этими двумя артистами. Они бросали друг другу вращающиеся шляпы, обручи, тарелки, зонтики... Один из жонглеров бросал в воздух целый ряд ножей, ловил их опять и снова подбрасывал с большой точностью вверх; моя аудитория, только что прослушав объяснение этих явлений, ликовала от удовольствия; которое она замечала вращение, которое жонглер сообщал каждому ножу, выпуская его из рук так, что мог наверное знать, в каком положении нож снова вернется к нему. Я был тогда поражен, что почти все без исключения жонглерские фокусы, показанные в тот вечер, представляли иллюстрацию изложенного выше принципа».

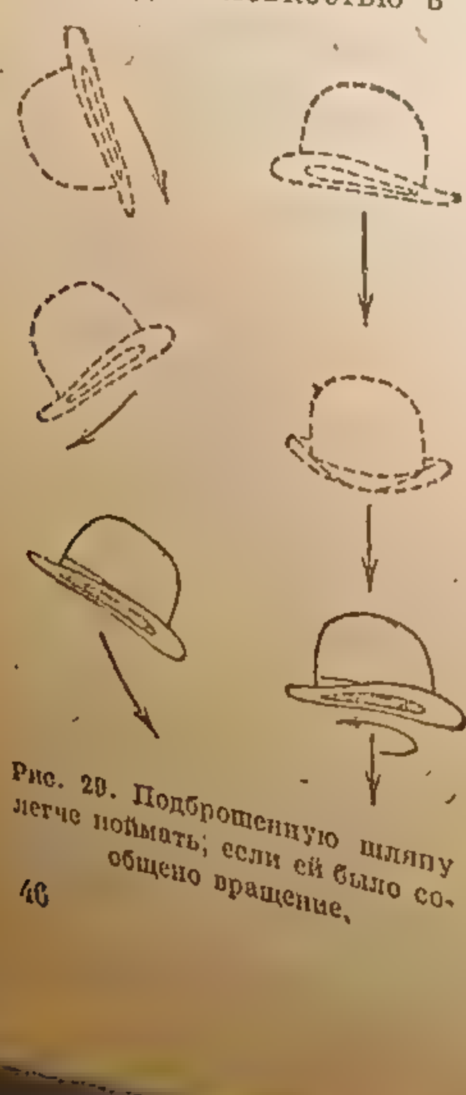


Рис. 29. Подброшенную шляпу легче поймать, если ей было сообщено вращение.

Новое решение колумбовой задачи

Свою знаменитую задачу о том, как поставить яйцо, Колумб решил чересчур просто: надломил его скорлупу *).

Такое решение, в сущности, неверно: надломив скорлупу яйца, Колумб изменил его *форму* и, значит, поставил не яйцо, а другое тело; ведь вся суть задачи в форме яйца: изменяя форму, мы заменяем яйцо другим телом [3]). Колумб дал решение не для того тела, для которого оно искалось.



Рис. 30. Решение колумбовой задачи: яйцо вращается, стоя на конце.

А между тем можно решить задачу великого мореплавателя, нисколько не изменяя форму яйца, если воспользоваться свойством волчка; для этого достаточно только привести яйцо во вращательное движение вокруг его длинной оси,— и оно будет, не опрокидываясь, стоять некоторое время на тупом или даже на остром конце. Как это сделать, показано на рис. 30: яйцу придают вращательное движение пальцами. Отняв руки, вы увидите, что яйцо продолжает еще некоторое время вращаться стоя: задача решена.

---

*) Следует отметить, впрочем, что популярная легенда о колумбовом яйце не имеет под собой исторической почвы. Молва приписала знаменитому мореплавателю то, что было сделано гораздо раньше другим лицом и по совершенно другому поводу,— а именно итальянским архитектором Брунеллески (1377—1446), строителем огромного купола Флорентийского собора. («Мой купол устоит так же надежно, как держится это яйцо на своем остром конце!»)

Для опыта необходимо брать непременно вареные яйца. Это ограничение не противоречит условию колумбовой задачи: предложив ее, Колумб взял яйцо тут же со стола, а к столу, надо полагать, поданы были не сырые яйца. Вам едва ли удастся заставить стоя вращаться яйцо сырое, потому что внутренняя жидкая масса является в данном случае как бы тормозом. В этом, между прочим, состоит простой способ отличать сырые яйца от сваренных вкрутую, известный всем хозяйкам.

«Уничтоженная» тяжесть

«Вода не выливается из сосуда, который вращается, — не выливается даже тогда, когда сосуд перевернут дном вверх, ибо этому мешает вращение», — писал две тысячи лет назад Аристотель. На рис. 31 изображен этот эффектный опыт, который, без сомнения, многим знаком: вращая достаточно быстро ведерко с водой, вы достигаете того, что вода не выливается даже в той части пути, где ведерко опрокинуто вверх дном.

Обычно объясняют это явление «центробежной силой», понимая под ней ту воображаемую силу, которая будто бы приложена к телу и обусловливает стремление его удалиться от центра вращения. Этой силы не существует: указанное стремление есть не что иное, как проявление *инерции*, а всякое движение по инерции осуществляется без участия силы. В физике под центробежной силой разумеют нечто иное, а именно — ту реальную силу, с какой вращающееся тело натягивает удерживающую его нить или давит на свой криволинейный путь. Сила эта приложена не к движущемуся телу, а к *препятствию*, мешающему ему двигаться прямолинейно: к нити, к рельсам на криволинейном участке пути и т. п.

Обращаясь к вращению ведерка, попытаемся разобраться в причине этого явления, не прибегая к двусмысленному понятию «центробежной силы». Зададим себе вопрос: куда направится струя воды, если в стенке ведерка сделать отверстие? Не будь силы тяжести, водяная струя по инерции направилась бы по касательной AK к окружности AB (рис. 31). Сила же тяжести заставляет струю снижаться и описывать кривую (параболу) AP. Если круговая скорость достаточно велика, эта кривая расположится вне окружности AB. Струя обнаруживает перед нами тот путь, по которому при вращении ведерка двигалась бы вода,

если бы не препятствовало надавливающее на нее ведерко. Теперь понятно, что вода вовсе не стремится двигаться отвесно вниз, а потому и не выливается из ведерка. Она могла бы вылиться из него лишь в том случае, если бы ведерко было обращено отверстием в направлении его вращения.

Вычислите теперь, с какой скоростью надо в этом опыте вращать ведерко, чтобы вода из него не выливалась вниз.

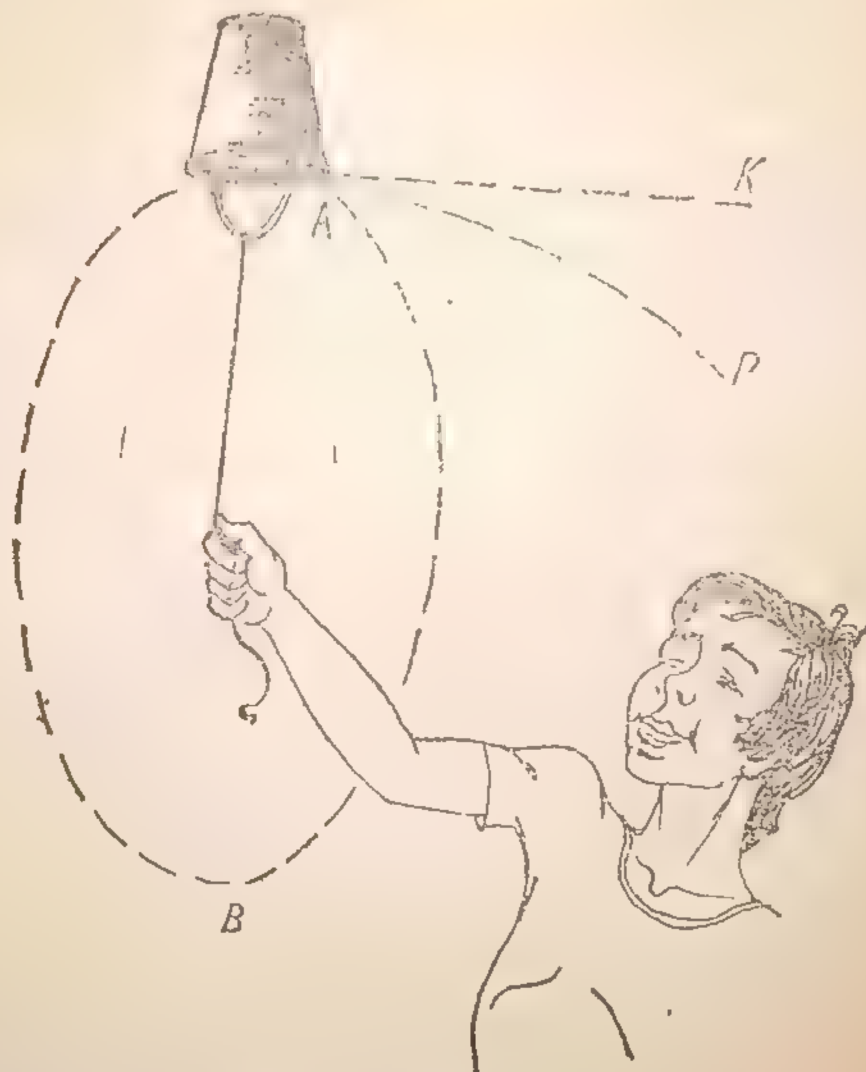


Рис. 31. Почему не выливается вода из вращаемого ведерка?

Скорость эта должна быть такова, чтобы центростремительное ускорение вращающегося ведерка было не меньше ускорения свободного падения: тогда путь, по которому стремится двигаться вода, будет лежать вне окружности, описываемой ведерком, и вода нигде от ведерка не отстанет. Формула для вычисления центростремительного ускорения w такова:

$$w = \frac{v^2}{R},$$

где v — круговая скорость, R — радиус кругового пути. Так как ускорение свободного падения на земной поверхности $g = 9{,}8$ м/с², то имеем неравенство

$$\frac{v^2}{R} \geqslant 9{,}8 \text{ м/с}^2.$$

Если положить R равным 70 см, то

$$v \geqslant \sqrt{0{,}7\,\text{м}\cdot 9{,}8\,\text{м/с}^2} = 2{,}6\ \text{м/с}.$$

Легко рассчитать, что для получения такой круговой скорости надо делать рукой около полутора оборотов в секунду. Подобная частота вращения вполне достижима, и опыт удается без труда.

Способностью жидкости прижиматься к стенкам сосуда, в котором она вращается вокруг горизонтальной оси, пользуются в технике для так называемого *центробежного литья*. При этом имеет существенное значение то, что неоднородная жидкость расслаивается по плотностям: более тяжелые составные части располагаются дальше от оси вращения, легкие занимают места ближе к оси. Вследствие этого все газы, содержащиеся в расплавленном металле и образующие так называемые «раковины» в литье, выделяются из металла во внутреннюю, полую часть отливки. Изделия, изготовленные таким способом, получаются плотными и свободными от раковин. Центробежное литье дешевле обычного литья под давлением и не требует сложного оборудования.

Вы в роли Галилея

Для любителей сильных ощущений иногда устраивается весьма своеобразное развлечение — так называемая «чертова качель». Имелась такая качель и в Ленинграде. Вот ее описание из сборника научных забав Федо (рис. 32):

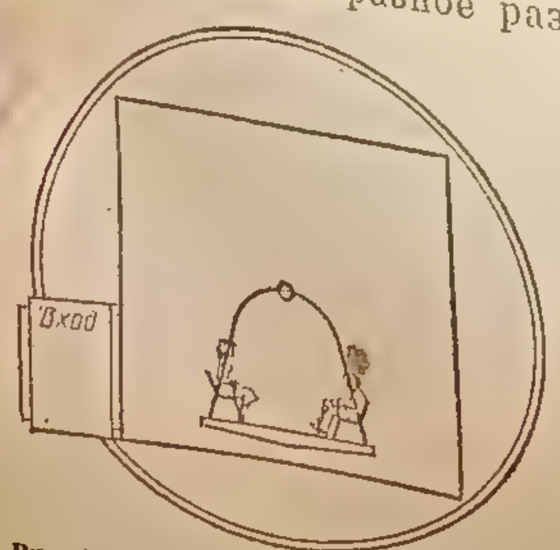


Рис. 32. Схема устройства «чертовой качели».

«Качель подвешена к прочной горизонтальной перекладине, перекинутой через комнату на известной высоте над полом. Когда все сядут, особо приставленный к этому служитель запирает входную дверь, убирает доску, служившую для входа, и, заявив, что он сейчас даст возможность зрителям сделать небольшое воздушное путешествие, начинает легонько раскачивать качели. Вслед за тем он садится назади качели, подобно кучеру на запятках, или совсем выходит из зала.

Между тем размахи качели становятся все больше и больше; она, по-видимому, подпимается до высоты перекладины, потом переходит за нее, выше и выше и, наконец, описывает полный круг. Движение ускоряется все заметнее, и качающиеся, хотя по большей части уже предупрежденные, испытывают несомненные ощущения качания и быстрого движения; им кажется, что они несутся вниз головой в пространстве, так что невольно хватаются за спинки сидений, чтобы не упасть.

Но вот размахи начинают уменьшаться; качель более не поднимается уже на высоту перекладины, а еще через несколько секунд останавливается совершенно.

На самом же деле качель *все время висела неподвижно*, пока продолжался опыт, а сама комната, с помощью очень несложного механизма, обращалась мимо зрителей вокруг горизонтальной оси. Разного рода мебель была прикреплена к полу или стенам зала; лампа, припаянная к столу так, что она, по-видимому, легко могла переворачиваться, состояла из электрической лампочки накаливания, скрытой под большим колпаком. Служитель, который, по-видимому, раскачивал качель, давая ей легкие толчки, в сущности, сообразовал их с легкими колебаниями зала и делал только вид, что раскачивает. Вся обстановка способствовала полному успеху обмана».

Секрет иллюзии, как видите, прост до смешного. И все-таки, если бы теперь, уже зная, в чем дело, вы очутились на «чертовой качели», вы неизбежно поддались бы обману. Такова сила иллюзии!

Помните стихотворение Пушкина «Движение»?

> — Движенья нет,— сказал мудрец брадатый *).
> Другой **) смолчал — и стал пред ним ходить.
> Сильнее бы не мог он возразить.
> Хвалили все ответ замысловатый.
> Но, господа, забавный случай сей
> Другой пример на память мне приводит:
> Ведь каждый день над нами Солнце ходит,
> Однако ж прав упрямый Галилей!

Среди пассажиров качели, не посвященных в ее секрет, вы были бы своего рода Галилеем — только наоборот: Галилей доказывал, что Солнце и звезды неподвижны, а кружимся, вопреки очевидности, мы сами; вы же будете доказывать, что неподвижны мы, а вся комната вертится вокруг нас. Возможно, что вам пришлось бы при этом испытать и печальную участь Галилея: на вас смотрели бы, как на человека, спорящего против очевидных вещей...

---

*) Греческий философ Зенон Элейский (V век до нашей эры), учивший, что все в мире неподвижно и что только вследствие обмана чувств нам кажется, будто какое-либо тело движется.— *Я. П.*

**) Диоген.— *Я. П.*

Доказать свою правоту вам будет не так легко, как вы, может быть, полагаете. Вообразите, что вы в самом деле очутились на «чертовой качели» и хотите убедить ваших соседей, что они заблуждаются. Предлагаю вам вступить в этот спор со мной. Сядем с вами на «чертову качель», дождемся момента, когда, раскачавшись, она начнет, по-видимому, описывать полные круги, и заведем диспут о том, что́ вращается: качель или вся комната? Прошу только помнить, что во время спора мы не должны покидать качели; все необходимое захватим с собой заблаговременно.

Вы. Как можно сомневаться в том, что мы неподвижны, а вращается комната! Ведь если бы нашу качель в самом деле опрокинуть вверх дном, то мы с вами не повисли бы вниз головой, а выпали бы из нее. Но мы не падаем. Значит, вращается не качель, а комната.

Я. Однако вспомните, что вода из быстро вращающегося ведерка не выливается, хотя оно и опрокидывается вверх дном (см. выше). Велосипедист в «чертовой петле» (см. далее) также не падает, хотя и едет вниз головой.

Вы. Если так, то вычислим центростремительное ускорение и убедимся, достаточно ли оно для того, чтобы мы не выпали из качели. Зная наше расстояние от оси вращения и число оборотов в единицу времени, мы легко определим по формуле...

Я. Не трудитесь вычислять. Устроители «чертовой качели», зная о нашем споре, предупредили меня, что число оборотов будет вполне достаточно, чтобы явление объяснялось по-моему. Следовательно, вычисление не решит нашего спора.

Вы. Однако я не потерял надежды вас переубедить. Видите, вода из этого стакана не выливается на пол... Впрочем, вы и тут сошлетесь на опыт с вращающимся ведерком. Хорошо же: я держу в руке отвес, — он все время направлен к нашим ногам, т. е. вниз. Если бы вращались мы, а комната оставалась неподвижной, отвес был бы все время обращен к полу, т. е. вытягивался бы то к нашим головам, то вбок.

Я. Ошибаетесь: если мы вращаемся с достаточной скоростью, то отвес все время должен отбрасываться от оси вдоль радиуса вращения, т. е. к нашим ногам, как мы и наблюдаем.

Финал нашего спора

Теперь позвольте вам посоветовать, как одержать победу в этом споре. Надо взять с собой на «чертову качель» пружинные весы, положить на их чашку гирю, например весом 1 кгс, и следить за положением указателя: он все время будет показывать один и тот же вес, именно 1 кгс. Это и есть доказательство неподвижности качели.

В самом деле: если бы мы вместе с пружинными весами описывали круги около оси, то на гирю, кроме силы тяжести, действовал бы также центробежный эффект, который в нижних точках пути *увеличивал* бы вес гири, а в верхних *уменьшал* бы его; мы должны были бы замечать, что гиря то становится тяжелее, то почти ничего не весит. А раз этого не замечается, значит, вращается комната, а не мы.

В «заколдованном» шаре

Один предприниматель в Америке устроил для развлечения публики очень забавную и поучительную карусель в форме шарообразной вращающейся комнаты. Люди внутри нее испытывают такие необыкновенные ощущения, какие мы считаем возможными разве только во сне или в волшебной сказке.

Вспомним сначала, что испытывает человек, стоящий на быстро вращающейся круглой платформе. Вращающаяся платформа стремится отбросить человека наружу;

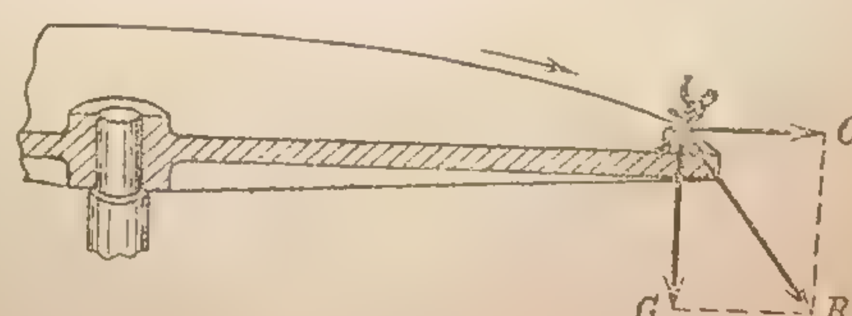


Рис. 33. Что испытывает человек на краю вращающейся платформы.

чем дальше стоите вы от центра, тем сильнее будет клонить и тянуть вас наружу. Если закроете глаза, вам будет казаться, что вы стоите не на горизонтальном полу, а на наклонной плоскости, на которой с трудом сохраняете равновесие. Это станет понятно, когда рассмотрим, какие силы действуют здесь на ваше тело (рис. 33). Центробежная сила C увлекает ваше тело наружу, сила тяжести G тянет вниз; обе силы, складываясь по правилу параллелограмма, дают результирующую силу R, которая *наклонена вниз* [1]).

Чем быстрее вращается платформа, тем эта результирующая сила больше и направляется более отлого.

Представьте же себе теперь, что край платформы загнут вверх и вы стоите на этой отогнутой наклонной части (рис. 34). Если платформа неподвижна, вы в таком положении не удержитесь, а сползете или даже опрокинетесь. Другое дело, если платформа вращается: тогда эта наклонная плоскость станет для вас, при известной скорости, как бы горизонтальной, потому что результирующая



Рис. 34. Человек прочно стоит на наклонной части вращающейся платформы.

обоих увлекающих вас сил C и G направится тоже наклонно, под прямым углом к наклонной части платформы *).

Если вращающейся платформе придать такую кривизну, чтобы при определенной скорости ее поверхность была в *каждой* точке перпендикулярна к результирующей силе, то помещенный на ней человек будет чувствовать себя во всех ее точках, как на горизонтальной плоскости. Вычислено, что такой криволинейной поверхностью является поверхность особого геометрического тела — *параболоида*. Ее можно получить, если быстро вращать вокруг вертикальной оси бокал, до половины налитый водой: тогда вода у краев поднимется, в центре опустится, и поверхность ее примет форму параболоида.

Если вместо воды налить в бокал растопленный воск и продолжать вращение до тех пор, пока воск не остынет, то затвердевшая поверхность его даст нам точную форму параболоида. При определенной скорости вращения такая поверхность является для помещенных на нее тел как бы горизонтальной: шарик, положенный в любую ее точку, не скатывается вниз, а остается на этом уровне (рис. 35).

*) Этим, заметим кстати, объясняется, почему на закруглениях железнодорожного пути наружный рельс укладывают выше внутреннего, а также почему наклоняют внутрь трековую дорожку для велосипедов и мотоциклов и почему гонщики-профессионалы могут ехать по круто наклоненному круговому настилу.

Теперь легко будет понять устройство «заколдованного» шара. Дно его (рис. 36) составляет большая вращающаяся платформа, которой придана форма параболоида. Хотя вращение благодаря скрытому под платформой механизму совершается чрезвычайно плавно, все же люди на платформе испытывали бы головокружение, если бы окружающие предметы не перемещались вместе с ними. Чтобы не дать возможности наблюдателю обнаружить движение, платформу помещают внутри большого шара с непрозрачными стенками, который вращается с такой же скоростью, как и сама платформа.

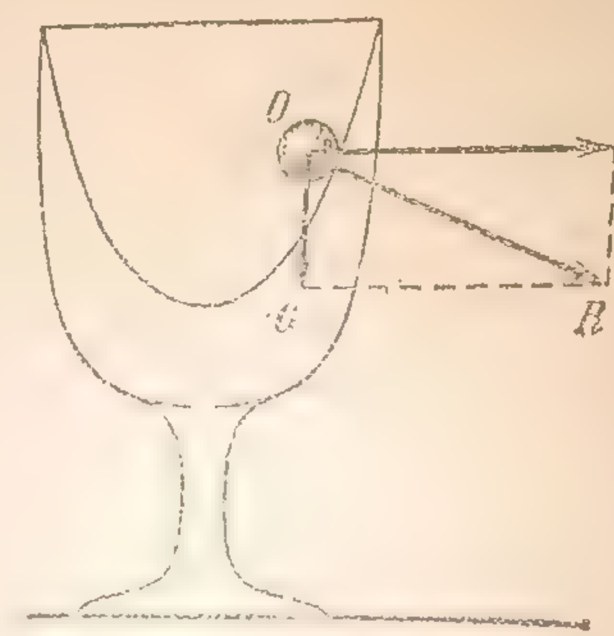


Рис. 35. Если этот бокал вращать с достаточной скоростью, то шарик не скатится на его дно.

Таково устройство этой карусели, носящей название «заколдованного» или «волшебного» шара. Что же испытываете вы, находясь на платформе внутри шара? Когда он вращается, пол под вашими ногами горизонтален, в какой бы точке параболической

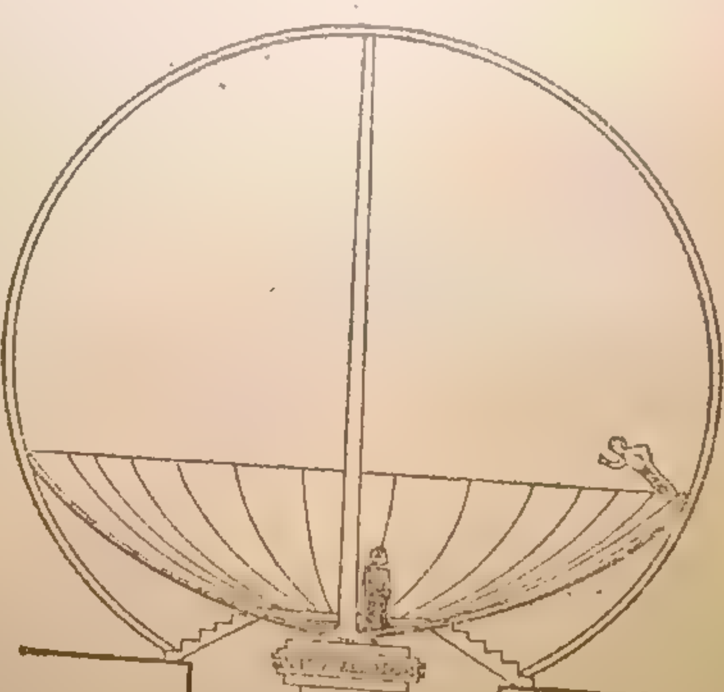


Рис. 36. «Заколдованный» шар.

платформы вы ни находились,— у оси, где пол действительно горизонтален, или у края, где он наклонен на 45°. Глаза ясно видят вогнутость, чувство равновесия свидетельствует, что под вами ровное место.

«Показания» обоих чувств противоречат друг другу с
мым резким образом. Если вы перейдете с одного кра
платформы на другой, то вам покажется, будто весь о
ромный шар с легкостью мыльного пузыря перевалил
на другой бок под тяжестью вашего тела: ведь во всяк
точке вы чувствуете себя, как на горизонтальной плоскост
(рис. 37). А положение других людей, стоящих на пла
форме наклонно, должно представляться вам до крайност
необычайным: вам буквально будет казаться, что люд
как мухи, ходят по стенам (рис. 38).

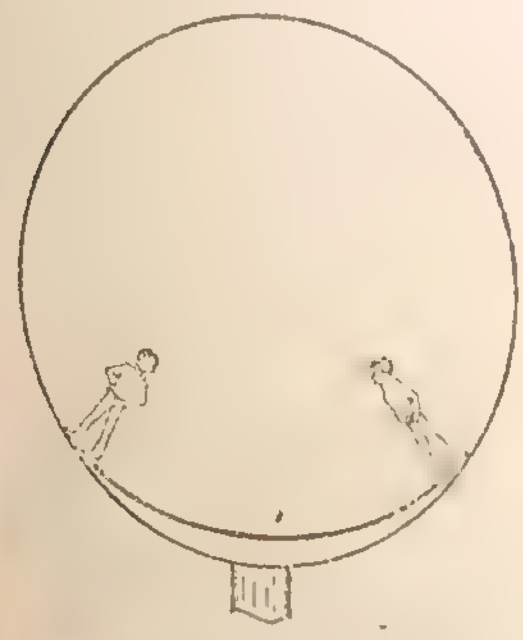


Рис. 37. Истинное положение людей внутри «заколдованного» шара.

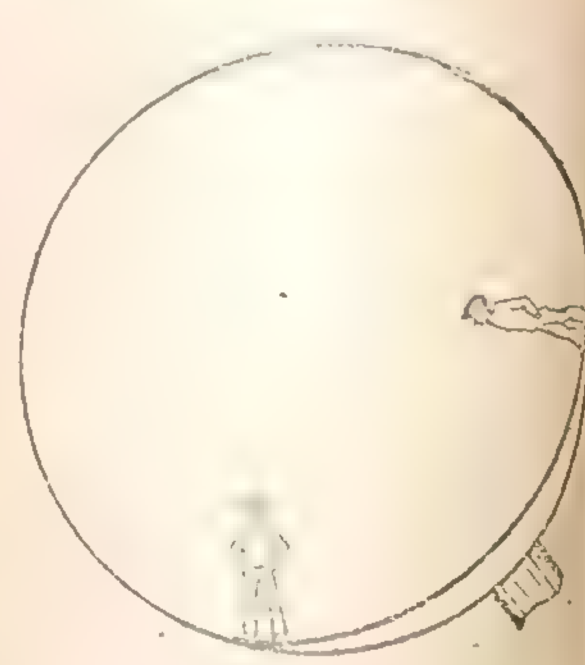


Рис. 38. Положение, которое представляется при этом каждому из двух посетителей.

Вода, вылитая на пол «заколдованного» шара, расте
лась бы ровным слоем по его поверхности. Людям ка
лось бы, что вода здесь стоит перед ними наклонн
стеной.

Привычные представления о законах тяготения слов
отменяются в этом удивительном шаре, и мы перенос
ся в сказочный мир чудес...

Подобные ощущения испытывает на поворотах летчи
Так, если он летит со скоростью 200 км/ч по кривой
радиусом 500 м, то земля должна казаться *) ему прип
нявшейся и наклоненной на 16°.

В Геттингене была сооружена для научных изыскан
подобная вращающаяся лаборатория. Это (рис. 39) п
линдрическая комната 3 м в поперечнике, вращающ

*) См. гл. 5 моей «Занимательной механики».

со скоростью до 50 оборотов в секунду. Так как пол комнаты плоский, то при вращении наблюдателю, стоящему

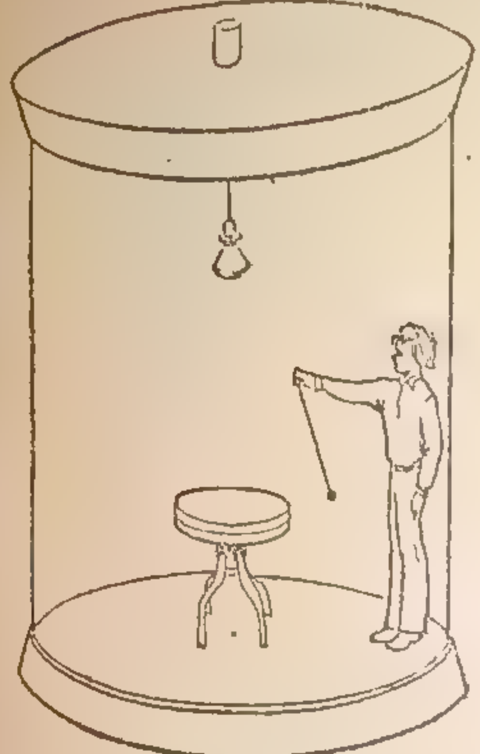


Рис. 39. Действительное положение вращающейся лаборатории.



Рис. 40. Кажущееся положение той же вращающейся лаборатории.

у стены, кажется, будто комната откинулась назад, а сам он полулежит на покатой стене (рис. 40).

Жидкий телескоп

Наилучшая форма для зеркала отражательного телескопа — параболическая, т. е. именно та форма, какую сама собой принимает поверхность жидкости во вращающемся сосуде. Конструкторы телескопов затрачивают много хлопотливого труда, чтобы придать зеркалу подобную форму. Изготовление зеркала для телескопа длится целые годы. Американский физик Роберт Вуд обошел эти затруднения, устроив *жидкое зеркало*: вращая ртуть в широком сосуде, он получил идеальную параболическую поверхность, которая могла играть роль зеркала, так как ртуть хорошо отражает лучи света. Телескоп Вуда был установлен в неглубоком колодце.

Недостаток телескопа, однако, тот, что малейший толчок морщит поверхность жидкого зеркала и искажает изображение, а также и тот, что зеркало дает возможность непосредственно рассматривать только те светила, которые находятся в зените.

Быть может, вам знаком головокружительный велосипедный трюк, иногда исполняемый в цирках: велосипедист едет в петле снизу вверх и описывает полный круг, несмотря на то, что по верхней части круга ему приходится *ехать вниз головой*. На арене устраивают деревянную дорожку в виде петли с одним или несколькими завитками, как изображено на рис. 41. Артист спускается на велосипеде по наклонной части петли, затем быстро

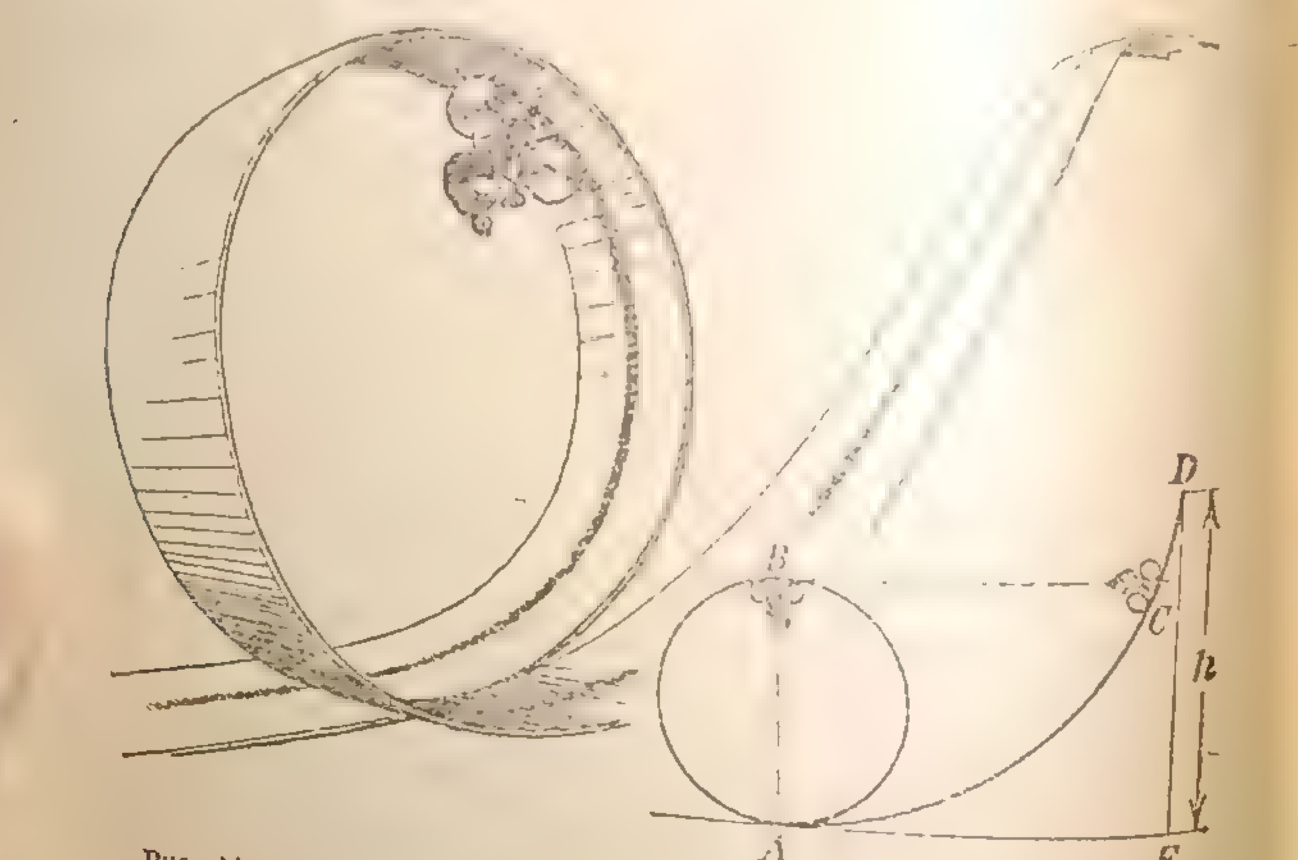


Рис. 41. «Чертова петля». Внизу справа — схема для расчета.

взлетает на своем стальном коне вверх, по круговой ее части, совершает полный оборот, буквально вниз головой, и благополучно съезжает на землю *).

Этот головоломный велосипедный фокус кажется зрителям верхом акробатического искусства. Озадаченная публика в недоумении спрашивает себя: какая таинственная сила удерживает смельчака вниз головой? Недоверчиво настроенные готовы подозревать здесь ловкий обман, а между тем в трюке нет ничего сверхъестественного. Он всецело объясняется законами механики. Биллиардный

---

*) «Чертова петля» изобретена в 1902 г. одновременно двумя цирковыми артистами — «Дьяволо» (Джонсоном) и «Мефистофелем» (Нуазеттом).

шар, пущенный по этой дорожке, выполнил бы то же с не меньшим успехом.

Знаменитый исполнитель и изобретатель этого трюка, артист «Мефисто», для испытания прочности «чертовой петли» имел тяжелый шар, масса которого равнялась массе артиста вместе с велосипедом. Шар этот пускали по дорожке петли, и если он благополучно пробегал ее, то артист решался проделать петлю сам.

Читатель, конечно, догадывается, что причина странного явления — та же, которая объясняет общеизвестный опыт с вращающимся ведерком. Однако трюк удается не всегда; необходимо в точности рассчитать высоту, с которой велосипедист должен начать свое движение: иначе трюк окончится катастрофой.

Математика в петле

Я знаю, что ряды «бездушных» формул отпугивают иных любителей физики. Но, отказываясь от знакомства с математической стороной явлений, такие недруги математики лишают себя удовольствия заранее предусматривать ход явления и определять его условия. В данном, например, случае две-три формулы помогут нам в точности определить, при каких условиях возможно успешное выполнение столь удивительного трюка, как пробег в «чертовой петле».

Приступим же к расчетам.

Обозначим буквами те величины, с которыми придется вести расчеты:

h — *высота*, с которой скатывается велосипедист.

x — та часть высоты h, которая возвышается над верхней точкой «петли»; из рис. 41 видно, что $x=h-AB$;

R — *радиус* петли;

m — общая *масса* артиста вместе с велосипедом; сила тяжести их выразится тогда через mg, где g — *ускорение свободного падения*, равное, как известно, 9,8 м/с²;

v — *скорость* велосипедиста в тот момент, когда он достигает самой верхней точки круга.

Все эти величины мы можем связать двумя уравнениями. Во-первых, мы знаем, что скорость, которую приобретает велосипедист к моменту, когда, катясь по наклонной дорожке, он находится в точке C, на уровне точки B (см. рис. 41), равна той, какую он имеет в верхней части

петли, в точке B [5]). Скорость велосипедиста в точке C выражается формулой *)

$$v=\sqrt{2gx}, \text{ или } v^2=2gx.$$

Следовательно, и скорость велосипедиста в точке B равна

$$v=\sqrt{2gx}, \text{ или } v^2=2gx.$$

Далее, для того чтобы велосипедист, до[стигнув] высшей точки кругового пути, не упал вниз, ну[жно] (ср. с. 49), чтобы развивающееся при этом центрост[реми]тельное ускорение было больше ускорения свободного [па]дения, т. е. надо, чтобы

$$\frac{v^2}{R}>g, \text{ или } v^2>gR.$$

Но мы уже знаем, что $v^2=2gx$; следовательн[о],

$$2gx>gR, \text{ или } x>\frac{R}{2}.$$

Итак, мы узнали, что для успешного выполнения этого головоломного фокуса необходимо устроить «чертову петлю» так, чтобы вершина наклонной части пути возвышалась над верхней точкой петли больше чем на 1/2 ее радиуса. Крутизна наклона роли не играет,— нужно только, чтобы пункт, с которого велосипедист начинает спускаться, возвышался над вершиной петли больше чем на 1/4 диаметра. Если, например, петля имеет в диаметре 16 м, то артист должен начать спуск не меньше чем с 20-м[ет]ровой высоты. Не выполни он этого условия, никак[ое] искусство не поможет ему описать «чертову петлю»: [не до]стигнув ее верхней части, он неминуемо упадет.

Расчет этот не учитывает влияния силы трения в [illegible] считается, что скорости в точке C и точке [illegible] одинаковы. Поэтому нельзя слишком удлинять путь [illegible] пологий спуск. При пологом спуске в [результате] действия трения скорость велосипеда по[сле] снижения точки B будет меньше, чем в точке C.

[illegible], что при исполнении этого трюка [illegible] без цепи, предоставляя машину действию силы тяжести: ни ускорять, ни замедлять своего [illegible]

---

*) При этом мы пренебрегаем энергией вращающихся обо[д]ов [illegible]; влияние этого обстоятельства на результат [illegible] (см. § 47 моей книги «Знаете ли вы физику»).

жения он не может, да и не должен. Все его искусство в том, чтобы держаться середины деревянной дорожки; при малейшем уклонении артист рискует съехать с дорожки и быть отброшенным в сторону. Скорость движения по кругу весьма велика: при круге с диаметром 16 м ездок совершает оборот за 3 секунды. Это соответствует скорости 60 км/ч! Управлять велосипедом при такой скорости, конечно, мудрено; но этого и не надо; можно смело положиться на законы механики. «Сам по себе велосипедный трюк,— читаем мы в брошюре Бостонса «Велосипедные аттракционы»,— при правильном расчете и прочной конструкции аппарата не опасен. Опасность трюка лежит в самом артисте. Если рука артиста дрогнет, если он будет взволнован, потеряет самообладание, если ему неожиданно сделается дурно, то можно ожидать всего».

На этом же законе покоится всем известная «мертвая петля» и другие фигуры высшего пилотажа. В «мертвой петле» первостепенную роль играет правильный «разгон» пилота по кривой и умелое управление самолетом.

Нехватка в весе

Какой-то шутник объявил однажды, что знает способ без обмана обвешивать покупателей. Секрет состоит в том, чтобы покупать товары в странах экваториальных, а продавать — поближе к полюсам. Давно известно, что близ экватора вещи имеют меньший вес, нежели близ полюсов; гиря массой 1 кг, перенесенная с экватора на полюс, прибавится в весе на 5 гс. Надо пользоваться, однако, не рычажными весами, а пружинными, притом изготовленными (градуированными) на экваторе, иначе никакой выгоды не получится: товар станет тяжелее и на столько же тяжелее сделаются гири. Если купить золото где-нибудь в Перу, а сбыть его, скажем в Исландии, то можно, пожалуй, на этом кое-что заработать,— при бесплатном провозе, разумеется.

Не думаю, чтобы подобная торговля могла кого-нибудь обогатить, но по существу шутник прав: сила тяжести действительно увеличивается с удалением от экватора. Происходит это оттого, что тела на экваторе описывают при вращении Земли самые большие круги, а также и оттого, что земной шар как бы вздут у экватора *).

Главная доля недостачи веса обусловлена вращением Земли; оно уменьшает вес тела близ экватора на 1/290 долю по сравнению с весом того же тела у полюсов.

Разница в весе при переносе тела с одной широты на другую для легких тел ничтожна. Но для тяжелых грузов она может достигнуть величины довольно солидной. Вы и не подозревали, например, что паровоз, весящий в Москве 60 тс, по прибытии в Архангельск становится на 60 кгс тяжелее, а по прибытии в Одессу — на столько же легче. В свое время с острова Шпицбергена ежегодно вывозили в более южные порты до 300 000 т угля. Если бы это количество было доставлено в какой-нибудь экваториальный порт, то там обнаружена была бы недостача в весе 1200 тс, будь груз взвешен при приемке на пружинных весах, вывезенного из Шпицбергена. Линкор, весивший в Архангельске 20 000 тс, по прибытии в экваториальные воды становится легче на 80 тс; но это остается неощутимым, так как соответственно становятся легче и все другие тела, не исключая, конечно, и воды в океане *).

Если бы земной шар вращался вокруг своей оси быстрее (например, если бы сутки длились не 24 часа, а, скажем, 4 часа), то разница в весе тел на экваторе и полюсах была бы заметна резче. При четырехчасовых сутках, например, гиря, весящая на полюсе 1 кгс, весила бы на экваторе всего 875 гс. Именно таковы приблизительно условия тяжести на Сатурне: близ полюсов этой планеты все тела на 1/6 долю тяжелее, чем на экваторе.

Так как центростремительное ускорение возрастает пропорционально квадрату скорости, то нетрудно вычислить, при какой скорости вращения оно на земном экваторе должно стать в 290 раз больше, т. е. сравняться с ускорением свободного падения. Это наступит при скорости в 17 раз большей, нежели нынешняя ($17^2 \approx 290$). В таком состоянии тела перестанут оказывать давление на свои опоры. Другими словами, если бы Земля вращалась в 17 раз быстрее, тела на экваторе *совсем не имели бы веса*! На Сатурне это наступило бы при скорости вращения всего в 2,5 раза большей, чем нынешняя.

---

*) Поэтому, между прочим, судно сидит в экваториальных водах столь же глубоко, как и в полярных; оно хотя и делается легче, но на столько же легче становится и вытесняемая им вода.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ВСЕМИРНОЕ ТЯГОТЕНИЕ

Велика ли сила притяжения?

«Если бы мы не наблюдали ежеминутно падения тел, оно было бы для нас самым удивительным явлением», — писал знаменитый французский астроном Араго. Привычка делает то, что притяжение всех земных предметов Землей кажется нам естественным и обычным явлением. Но когда нам говорят, что предметы притягивают также и *друг друга*, мы не склонны этому верить, потому что в обыденной жизни ничего подобного не замечаем.

Почему, в самом деле, закон всемирного тяготения не проявляется постоянно вокруг нас в обычной обстановке? Почему не видим мы, чтобы притягивали друг друга столы, арбузы, люди? Потому что для небольших предметов сила притяжения чрезвычайно мала. Приведу наглядный пример. Два человека, отстоящих на 2 метра друг от друга, притягивают один другого, но сила этого притяжения ничтожна: для людей средней массы — менее 0,01 миллиграмм-силы. Это значит, что два человека притягивают друг друга с такой же силой, с какой гирька массой 0,01 миллиграмма давит на чашку весов; только чрезвычайно чувствительные весы научных лабораторий способны обнаружить столь ничтожный грузик!

Такая сила, понятно, не может сдвинуть нас с места, — этому мешает трение наших подошв о пол. Чтобы сдвинуть нас, например, на деревянном полу (сила трения подошв о пол равна 30% веса тела), нужна сила не меньше 20 кгс. Смешно даже сравнивать эту силу с ничтожной силой притяжения в 0,01 мгс. Миллиграмм — тысячная часть грамма; грамм — тысячная часть килограмма; значит, 0,01 мгс составляет половину *одной миллиардной* доли той силы, которая нужна, чтобы сдвинуть нас с места! Удивительно ли, что при обычных условиях мы не замечаем и намека на взаимное притяжение земных тел?

Другое дело, если бы трения не существовало; тогда ничто не мешало бы даже слабому притяжению вызвать сближение тел. Но при силе 0,01 мгс скорость этого сближения должна быть совершенно ничтожной. Можно вычислить, что при отсутствии трения два человека, отстоящих на расстоянии 2 м, в течение первого часа придвинулись бы друг к другу на 3 см; в течение следующего часа они сблизились бы еще на 9 см; в течение третьего часа — еще на 15 см. Движение все ускорялось бы, но вплотную оба человека сблизились бы не ранее чем через пять часов.

Притяжение земных тел можно обнаружить в тех случаях, когда сила трения не служит препятствием. Груз, подвешенный на нити, находится под действием силы земного притяжения, и поэтому нить имеет отвесное направление; но если вблизи груза находится какое-нибудь массивное тело, которое притягивает груз к себе, то нить слегка отклоняется от отвесного положения и направляется по равнодействующей сил земного притяжения и притяжения другого тела, относительно очень слабого. Такое отклонение отвеса вблизи большой горы впервые наблюдал в 1775 г. Маскелайн в Шотландии; он сравнил направление отвеса с направлением к полюсу звездного неба с двух сторон одной и той же горы. Впоследствии более совершенные опыты с притяжением земных тел при помощи весов особого устройства позволили точно измерить силу тяготения.

Сила тяготения между небольшими массами ничтожна. При увеличении масс она возрастает пропорционально их произведению. Но тут многие склонны преувеличивать эту силу. Один ученый — правда, не физик, а зоолог,— пытался уверить меня, что взаимное притяжение, наблюдаемое нередко между морскими судами, вызывается силой всемирного тяготения! Нетрудно показать вычислением, что тяготение здесь не при чем: два корабля, массой 25 000 т каждый, на расстоянии 100 м притягивают друг друга с силой всего 400 гс. Разумеется, такая сила недостаточна, чтобы сообщить кораблям в воде хотя бы ничтожное перемещение. Истинную причину загадочного притяжения кораблей мы объясним в гл. 6.

Ничтожная для небольших масс сила тяготения становится весьма ощутимой, когда речь идет о колоссальных массах небесных тел. Так, даже Нептун, очень далекая от нас планета, медленно вращающаяся почти

на краю Солнечной системы, шлет нам свой «привет» притяжением Земли с силой 18 млн. тонна-сил! Несмотря на огромное расстояние, отделяющее нас от Солнца, Земля удерживается на своей орбите лишь силой тяготения. Если бы сила солнечного притяжения почему-либо

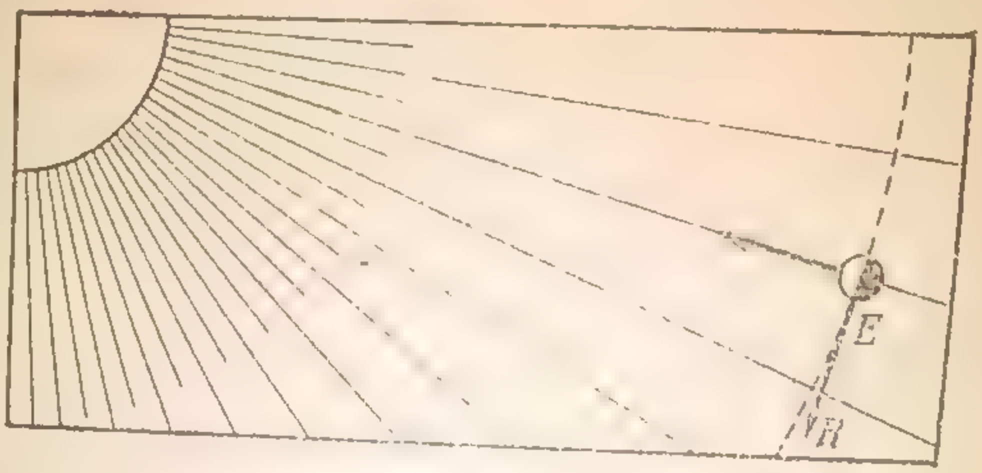


Рис. 42. Притяжение Солнца искривляет путь Земли E. Вследствие инерции земной шар стремится умчаться по касательной ER.

исчезла, Земля полетела бы по линии, касательной к ее орбите, и навеки умчалась бы в бездонную глубь мирового пространства (рис. 42).

Стальной канат от Земли до Солнца

Вообразите, что могущественное притяжение Солнца почему-либо в самом деле исчезло и Земле предстоит печальная участь навсегда удалиться в холодные и мрачные пустыни Вселенной. Вы можете представить себе — здесь необходима фантазия,— что инженеры решили, так сказать, заменить невидимые цепи притяжения материальными связями, т. е. попросту задумали соединить Землю с Солнцем крепкими стальными канатами, которые должны удерживать земной шар на круговом пути в его движении вокруг Солнца. Что может быть крепче стали, способной выдержать силу натяжения 100 кгс на каждый квадратный миллиметр? Представьте себе мощную стальную колонну диаметром 5 м. Площадь ее сечения заключает круглым счетом 20 000 000 мм²; следовательно, такая колонна разрывается лишь от груза весом 2 000 000 тс.

Вообразите далее, что колонна эта простирается от Земли до самого Солнца, соединяя оба светила. Знаете ли вы, сколько таких могучих колонн потребовалось бы для удержания Земли на ее орбите? Миллион миллионов! Чтобы нагляднее представить себе этот лес стальных колонн, густо усеивающих все материки и океаны, прибавлю, что при равномерном распределении их по

всей обращенной к Солнцу половине земного шара промежутки между соседними колоннами были бы лишь немногим шире самих колонн. Вообразите силу, необходимую для разрыва этого огромного леса стальных колонн, и вы получите представление о могуществе невидимой силы взаимного притяжения Земли и Солнца.

И вся эта колоссальная сила проявляется лишь в том, что она, искривляя путь движения Земли, каждую секунду заставляет Землю уклоняться от касательной на 3 мм; благодаря этому путь нашей планеты и превращается в замкнутый, эллиптический. Не странно ли: чтобы перемещать Землю каждую секунду на 3 мм, нужна такая исполинская сила! Это только показывает, как огромна *масса* земного шара, если даже столь чудовищная сила может сообщить ей лишь весьма незначительное перемещение.

Можно ли укрыться от силы тяготения?

Сейчас мы фантазировали о том, что было бы, если бы взаимное притяжение между Солнцем и Землей исчезло: освободившись от невидимых цепей притяжения, Земля умчалась бы в бесконечный простор Вселенной. Теперь пофантазируем на другую тему: что стало бы со всеми земными предметами, если бы не было силы тяготения? Ничто не привязывало бы их к нашей планете, и при малейшем толчке они уносились бы прочь в межпланетное пространство. Не пришлось бы, впрочем, дожидаться и толчка: вращение нашей планеты раскидало бы в пространство все, что непрочно связано с ее поверхностью.

Английский писатель Уэллс воспользовался подобного рода идеей, чтобы описать в романе фантастическое путешествие на Луну. В этом произведении («Первые люди на Луне») остроумный романист указывает на очень оригинальный способ путешествовать с планеты на планету. А именно: ученый, герой его романа, изобрел особый состав, который обладает замечательным свойством — непроницаемостью для силы тяготения. Если слой такого состава подвести под какое-нибудь тело, оно освободится от притяжения Земли и будет подвержено действию притяжения только остальных тел. Это фантастическое вещество Уэллс назвал «кеворитом» — по имени его вымышленного изобретателя Кевора.

«Мы знаем, — пишет романист, — что для всемирного тяготения, то есть для силы тяжести, проницаемы все тела. Вы можете поставить преграды, чтобы отрезать лучам света доступ к предметам; с помощью металлических листов можете оградить предмет от доступа электрических волн радиотелеграфа, — но никакими преградами не можете вы защитить предмет от действия тяготения Солнца или от силы земной тяжести. Отчего, собственно, в природе нет подобных преград для тяготения, — трудно сказать. Однако Кевор не видел причин, почему бы и не существовать такому веществу, непроницаемому для тяготения; он считал себя способным искусственно создать такое непроницаемое для тяготения вещество.

Всякий обладающий хоть искрой воображения легко представит себе, какие необычайные возможности открывает перед нами подобное вещество. Если, например, нужно поднять груз, то, как бы огромен он ни был, достаточно будет разостлать под ним лист из этого вещества, — и груз можно будет поднять хоть соломинкой».

Обладая таким замечательным веществом, герои романа сооружают небесный корабль, в котором и совершают смелый полет на Луну. Устройство снаряда весьма несложно: в нем нет никакого двигательного механизма, так как он перемещается действием притяжения светил.

Вот описание этого фантастического снаряда:

«Вообразите себе шарообразный снаряд, достаточно просторный, чтобы вместить двух человек с их багажом. Снаряд будет иметь две оболочки — внутреннюю и наружную; внутренняя из толстого стекла, наружная — стальная. Можно взять с собой запас сгущенного воздуха, концентрированной пищи, аппараты для дистилляции воды и т. п. Стальной шар будет весь снаружи покрыт слоем «кеворита». Внутренняя стеклянная оболочка будет сплошная, кроме люка; стальная же будет состоять из отдельных частей, и каждая такая часть может свертываться, как штора. Это легко устроить посредством особых пружин; шторы можно будет опускать и свертывать электрическим током, проводимым по платиновым проводам в стеклянной оболочке. Но это уже технические подробности. Главное то, что наружная оболочка снаряда будет вся состоять как бы из окон и «кеворитных» штор. Когда все шторы наглухо спущены, внутрь шара не может проникнуть ни свет, ни какой-либо вообще вид лучистой энергии, ни сила всемирного тяготения. Но вообразите, что одна из штор поднята, — тогда любое массивное тело, которое случайно находится вдали против этого окна, притянет нас к себе. Практически мы сможем путешествовать в мировом пространстве в том направлении, в каком пожелаем, притягиваемые то одним, то другим небесным телом».

Как полетели на Луну герои Уэллса

Интересно описан у романиста момент отправления межпланетного вагона в путь. Тонкий слой «кеворита», покрывающий наружную поверхность снаряда, делает

3*

его как бы совершенно невесомым. Вы понимаете, что невесомое тело не может лежать спокойно на дне воздушного океана; с ним должно произойти то же, что произошло бы с пробкой, погруженной на дно озера: пробка быстро всплыла бы на поверхность воды. Точно так же невесомый снаряд, отбрасываемый к тому же и инерцией вращения земного шара, должен стремительно взлететь ввысь и, дойдя до крайних границ атмосферы, свободно продолжать свой путь в мировом пространстве. Герои романа так и полетели. А очутившись в мировом пространстве, они, открывая одни заслонки, закрывая другие, подвергая внутренность снаряда притяжению то Солнца, то Земли, то Луны, добрались до поверхности нашего спутника. Впоследствии один из путешественников в том же снаряде возвратился на Землю.

Не будем останавливаться здесь на разборе идеи Уэллса по существу,— это сделано мною в другом месте *), где я и выяснил ее несостоятельность. Поверим пока остроумному романисту и последуем за его героями на Луну.

Полчаса на Луне

Посмотрим, как чувствовали себя герои романа Уэллса, очутившись в мире, где сила тяжести слабее, меньше, чем на Земле.

Вот эти любопытные страницы **) романа «Первые люди на Луне». Рассказ ведется от лица одного из жителей Земли, только что прибывших на Луну.

«Я принялся вывинчивать крышку снаряда. Став на колени, я высунулся из люка; внизу, на расстоянии трех футов от моей головы, лежал девственный снег Луны.

Закутавшись в одеяло, Кевор сел на край люка и стал осторожно свешивать ноги. Спустив их до высоты полуфута над почвой, он после минутного колебания соскользнул вниз на почву лунного мира.

Я следил за ним через стеклянную оболочку шара. Пройдя несколько шагов, он постоял минуту, озираясь кругом, затем решился и — прыгнул вперед.

Стекло искажало его движения, но мне казалось, что это и в действительности был чересчур большой прыжок. Кевор сразу очутился от меня на расстоянии 6—10 метров. Стоя на скале, он делал мне какие-то знаки; возможно, что он и кричал,— однако звуки не достигали меня... Но как он проделал свой прыжок?

---

*) См. книгу «Межпланетные путешествия».

**) Отрывок приведен здесь с несущественными сокращениями.

Озадаченный, я пролез через люк и тоже спустился вниз, очутившись на краю снежной выемки. Сделав шаг вперед, я прыгнул.

Я почувствовал, что лечу, и вскоре очутился близ скалы, на которой стоял поджидавший меня Кевор; ухватившись за нее, я повис в страшном изумлении.

Кевор, нагнувшись, кричал мне визгливым голосом, чтобы я был осторожнее. Я и забыл, что на Луне напряжение тяжести в шесть раз слабее, нежели на Земле. Действительность сама напоминала мне об этом.

Осторожно, сдерживая свои движения, я поднялся на вершину скалы и, ступая словно больной ревматизмом, стал на солнце рядом с Кевором. Снаряд наш лежал на тающем сугробе снега, футах в тридцати от нас.

— Посмотрите,— обратился я, поворачиваясь к Кевору.

Но Кевор исчез.

Одно мгновение я стоял, пораженный этой неожиданностью, затем, желая заглянуть за край скалы, поспешно шагнул вперед, совершенно забыв, что я на Луне. Усилие, которое я сделал, подвинуло бы меня на 1 метр, будь я на Земле. На Луне же оно подвинуло меня на 6 метров, и я очутился в 5 метрах за краем скалы.

Я испытывал то ощущение падения в пространстве, которое приходится переживать во сне, когда снится, будто падаешь в бездну. На Земле человек, падая, опускается в течение первой секунды на 5 метров, на Луне же он проходит при падении в первую секунду 80 сантиметров. Вот почему я плавно порхнул вниз на глубину метров девяти. Падение показалось мне продолжительным; оно длилось секунды три. Я поплыл в воздухе и опустился плавно, как пушинка, увязши по колено в снежном сугробе на дне скалистой долины.

— Кевор! — крикнул я, осматриваясь кругом. Но нигде не было и следов его.

— Кевор! — крикнул я громче.

И вдруг я увидел его: он смеялся и делал мне знаки, стоя на голом утесе, метрах в двадцати от меня. Я не мог слышать слов, но понял смысл его жестов: он приглашал меня прыгнуть к нему.

Я колебался: расстояние казалось мне слишком огромным. Но скоро я сообразил, что раз Кевор проделал такой прыжок, то, наверное, удастся прыгнуть и мне.

Отступив на шаг, я прыгнул изо всех сил. Стрелой взвился я в воздух и, казалось, никогда не опущусь вниз. Это был фантастический полет — чудовищный, как в сновидении, но в то же время восхитительно приятный.

Прыжок оказался слишком сильным: я перелетел над головой Кевора».

Стрельба на Луне

Следующий эпизод, взятый из повести выдающегося советского изобретателя К. Э. Циолковского «На Луне», поможет нам уяснить условия движения под действием силы тяжести. На Земле атмосфера, препятствуя движению в ней тел, заслоняет от нас простые законы падения, усложняя их добавочными условиями. На Луне воздух

отсутствуют совершенно. Луна была бы превосходной лабораторией для изучения падения тел, если бы мы могли на ней оказаться и заниматься там научными исследованиями.

Обращаясь к эпизоду повести, поясним, что два собеседника приводимого далее отрывка находятся на Луне и желают исследовать, как будут двигаться там пули, вылетевшие из ружья:

«— Но будет ли тут работать порох?

— Взрывчатые вещества в пустоте должны проявлять себя даже с большей силой, чем в воздухе, так как последний только препятствует их расширению; что же касается кислорода, то они в нем не нуждаются, потому что все необходимое его количество заключается в них самих.

— Установим ружье вертикально, чтобы пулю после взрыва отыскать поблизости...

Огонь, слабый звук *), легкое сотрясение почвы.

— Где же пыж? Он должен быть тут, поблизости.

— Пыж улетел вместе с пулей и едва ли от нее отстанет, так как только атмосфера мешает ему на Земле поспевать за свинцом; здесь же пух падает и летит вверх с такой же стремительностью, как и камень. Возьми пушинку, торчащую из подушки, а я возьму чугунный шарик. Ты можешь кидать свою пушинку и попадать ею в цель, даже отдаленную, с таким же удобством, как я шариком. Я могу, при малой тяжести, кинуть шарик метров на 400; ты на такое же расстояние можешь бросить пушинку; правда, ты никого ею не убьешь и при бросании даже не почувствуешь, что ты что-то бросаешь. Бросим наши метательные снаряды изо всех сил,— которые у нас не очень различны,— и в одну цель: вон в тот красный гранит...

Пушинка опередила немного чугунный шарик, как бы увлекаемая сильным вихрем.

— Но что это? Со времени выстрела прошло три минуты, а пули нет?

— Подожди две минуты, и она, наверное, вернется.

Действительно, через указанный срок мы ощущаем легкое сотрясение почвы и видим прыгающий невдалеке пыж.

— Как долго летала пуля! На какую же высоту она должна подняться?

— Километров на семьдесят. Эту высоту создают малая тяжесть и отсутствие воздушного сопротивления».

Проверим. Если для скорости пули в момент вылета из ружейного ствола взять сравнительно скромную цифру 500 м/с, то пуля *на Земле, при отсутствии атмосферы*, поднялась бы на высоту

$$h=\frac{v^2}{2g}=\frac{500^2\ (\text{м/с})^2}{2\cdot 10\ \text{м/с}^2}=12\,500\ \text{м, т. е. } 12{,}5\ \text{км}.$$

*) Звук, передаваемый через почву и тела людей, а не через воздух, которого на Луне нет. — *Я. П.*

На Луне же, где сила тяжести в шесть раз слабее, вместо g надо взять $10/6$ м/с²; достигаемая пулей высота должна равняться

$$12{,}5\text{ км} \cdot 6 = 75\text{ км}.$$

В бездонном колодце

О том, что делается в глубоких недрах нашей планеты, известно пока очень мало[1]). Одни полагают, что под твердой корой в сотню километров толщины начинается огненно-жидкая масса; другие считают весь земной шар отвердевшим до самого центра. Решить вопрос трудно: ведь самая глубокая скважина простирается не глубже 7,5 км, самая глубокая шахта, в которую проник человек, расположена на глубине 3,3 км[2]), а радиус земного шара равен 6400 км. Если бы можно было просверлить через нашу планету сквозной колодец, прорезающий земной шар по диаметру,— тогда подобные вопросы были бы разрешены.



Рис. 43. Если просверлить земной шар по диаметру...

Современная техника далека еще от возможности осуществления подобных проектов,—хотя все прорытые в земной коре буровые скважины, взятые вместе, составили бы длину, превышающую диаметр нашей планеты. О прорытии сквозного туннеля через земной шар мечтали в XVIII веке математик Мопертюи и философ Вольтер. К этому проекту, правда, в ином, более скромном масштабе, вернулся французский астроном Фламмарион; мы воспроизводим здесь с некоторыми изменениями рисунок из его статьи, посвященной этой теме (рис. 43).

Ничего подобного, конечно, пока еще не сделано; но воспользуемся воображаемым бездонным колодцем, чтобы заняться одной любопытной задачей. Как вы думаете, что было бы с вами, если бы вы упали в такой бездонный колодец (о сопротивлении воздуха на время забудем)? Разбиться о дно вы не можете, дна здесь не существует,— но где же вы остановитесь?

В центре Земли? Нет.

Когда вы долетите до центра, тело ваше будет иметь такую колоссальную скорость (около 8 км/с), что об остановке в этой точке не может быть и речи. Вы промчитесь далее и будете нестись, постепенно замедляя движение, пока не поравняетесь с краями противоположного конца колодца. Здесь надо будет вам покрепче ухватиться за края,— иначе вы вновь проделаете прогулку через весь колодец до другого конца. Если и тут не удастся вам ухватиться за что-нибудь, вы опять полетите в колодец и будете качаться так без конца (рис. 44). Механика учит, что при таких условиях (если только пренебречь сопротивлением воздуха в колодце) тело должно качаться туда и обратно вечно *).

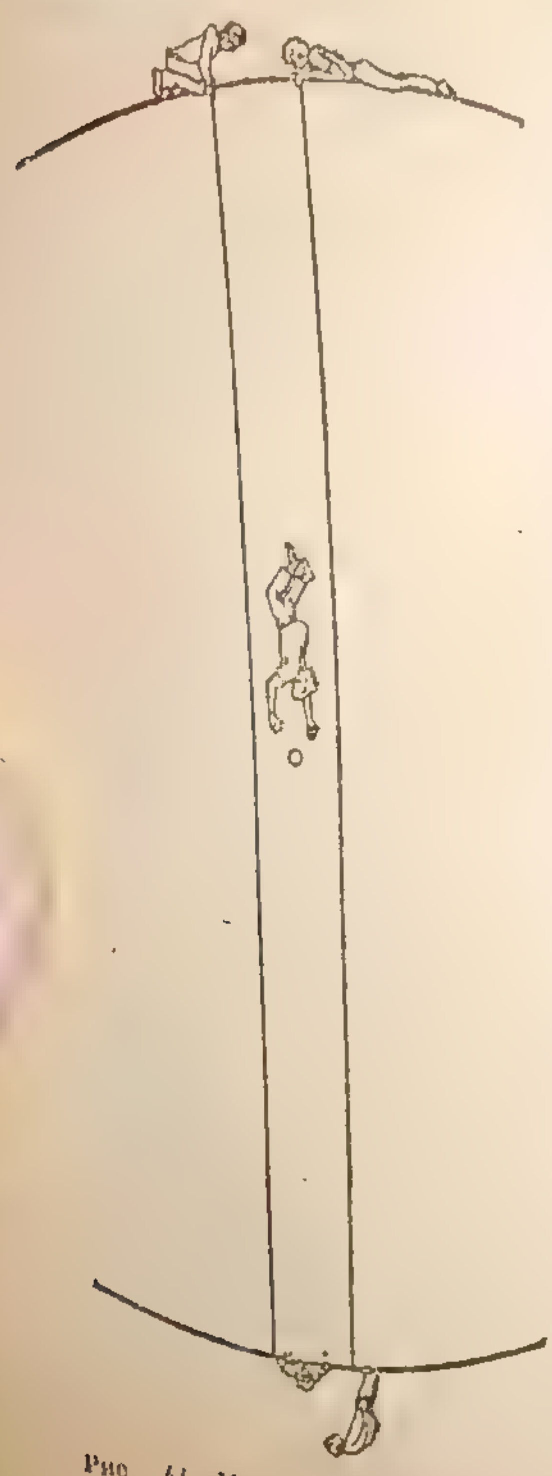


Рис. 44. Упав в колодец, прорытый через центр земного шара, тело будет качаться безостановочно от одного конца колодца до другого.

Какова была бы продолжительность одного такого качания? Оказывается, что весь путь туда и обратно занял бы 84 мин 24 с, т. е. круглым счетом полтора часа.

«Так было бы,— продолжает Фламмарион,— если бы колодец вырыт был по оси от полюса до полюса. Но достаточно перенести точку отправления на какую-либо иную широту — на материк Европы, Азии или Африки,— и придется принять в расчет влияние вращения Земли. Известно, что каждая точка земной поверхности пробегает на экваторе 465 м в секунду, а на широте Парижа 300 м. Так как круговая скорость *возрастает* с удалением от оси вращения, то свинцовый шарик, например, брошенный в колодец, падает не по вертикали, а уклоняется несколько к востоку. Если вырыть бездонный колодец на экваторе, то ширина его должна быть весьма значительна, либо же он должен быть

*) При наличии же сопротивления воздуха качания будут постепенно затухать, и дело кончится тем, что тело остановится в центре Земли.

самой оси, потому что тело, падающее с поверхности Земли, приходилось бы далеко к востоку от ее центра.

Если бы входное отверстие колодца находилось на одном из плоскогорий Южной Америки, на высоте, положим, двух километров, а противоположный конец туннеля приходился бы на уровне океана, то человек, который по неосторожности свалился бы в американское отверстие, достиг бы противоположного конца с такой скоростью, что вылетел бы из него на высоту двух километров.

А если бы оба конца колодца приходились на уровне океана, можно было бы подать летящему человеку руку в момент появления его у отверстия, когда скорость полета равна нулю. В предыдущем же случае следовало бы, напротив, с опаской посторониться от чересчур стремительного путешественника.

Сказочная дорога

В свое время в С.-Петербурге появилась брошюра со странным заглавием. «Самокатная подземная железная дорога между С.-Петербургом и Москвой. Фантастический роман пока в трех главах, да и то неоконченных». Автор этой брошюры, А. А. Родных, предложил остроумный проект, с которым любопытно познакомиться любителю физических парадоксов.

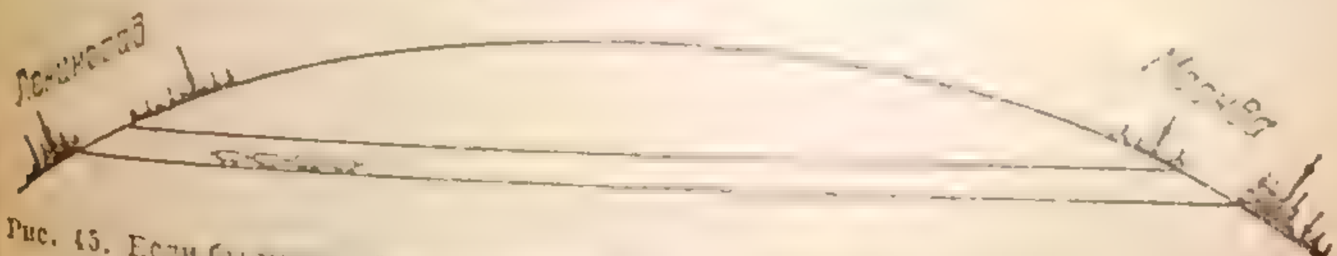


Рис. 45. Если бы можно было прорыть туннель между Ленинградом и Москвой, то поезда мчались бы в нем туда и обратно сами собой.

Проект состоит «в проведении 600-километрового туннеля, который должен соединить обе наши столицы по совершенно прямой подземной линии. Таким образом, впервые явилась бы возможность для человечества совершать путь по прямой, а не ходить кривыми путями, как это было до сих пор». (Автор хочет сказать, что все наши дороги, подчиняясь кривизне земной поверхности, следуют по дугам, между тем как проектируемый туннель пройдет по прямой линии — по хорде.)

Такой туннель, если бы его можно было прорыть, имел бы удивительное свойство, каким не обладает ни одна дорога в мире. Оно заключается в том, что любой экипаж в подобном туннеле *должен двигаться сам собой*. Вспомним наш подземный колодец, пробуравливающий земной шар. Ленинградо-московский туннель — тот же

колодец, только просверленный не по диаметру, а по хорде. Правда, при взгляде на рис. 45 может казаться, что туннель прорыт горизонтально и что поезду, следовательно, нет причины катиться по нему за счет силы тяжести. Но это лишь обман зрения: проведите мысленно радиусы к концам туннеля (направление радиуса есть направление отвеса); вы поймете тогда, что туннель прорыт не под прямым углом к отвесу, т. е. не горизонтально, а *наклонно*.

В таком косом колодце всякое тело должно качаться, увлекаемое силой тяжести, вперед и назад, все время прижимаясь к дну. Если в туннеле устроить рельсы, то железнодорожный вагон будет сам катиться по ним: сила тяжести заменит тягу паровоза. Вначале поезд будет двигаться очень медленно. С каждой секундой скорость самокатного поезда будет возрастать; вскоре она дойдет до невообразимой величины, так что воздух в туннеле будет уже заметно мешать его движению.

Но забудем на время об этом досадном препятствии, мешающем осуществлению многих заманчивых проектов, и проследим за поездом дальше. Домчавшись до середины туннеля, поезд будет обладать такой огромной скоростью,— во много раз большей скорости пушечного снаряда! — что с разбега докатится почти до противоположного конца туннеля. Если бы не трение, не было бы и этого «почти»: поезд без паровоза сам доехал бы из Ленинграда в Москву. Продолжительность перелета в один конец, как показывает расчет,— та же, что и для падения сквозь колодец, прорытый по диаметру: 42 мин 12 с. Странным образом она не зависит от длины туннеля: путешествия в туннеле Москва — Ленинград, Москва — Владивосток или Москва — Мельбурн продолжались бы одинаковое время *).

То же повторялось бы с любым другим экипажем: дрезиной, каретой, автомобилем и т. д. Поистине сказочная дорога, которая, сама оставаясь неподвижной, мчит по себе все экипажи от одного конца до другого, и притом с невообразимой скоростью **)!

*) Можно доказать еще и другое, не менее любопытное положение, относящееся к бездонному колодцу: продолжительность качания зависит не от *размера* планеты, а только от ее *плотности*.

**) Интересующиеся математической стороной этой задачи могут найти подробный разбор ее в моей статье, напечатанной в журнале: Математика и физика в школе, 1936, № 3, с. 106.

Как роют туннели?

Взгляните на рис. 46, изображающий три способа проведения туннелей, и скажите, какой из них прорыт горизонтально?

Не верхний и не нижний, а средний, идущий по дуге, которая во всех точках образует прямые углы с направлением отвесных линий (или земных радиусов). Это и есть горизонтальный туннель,— его изгиб вполне соответствует кривизне земной поверхности.

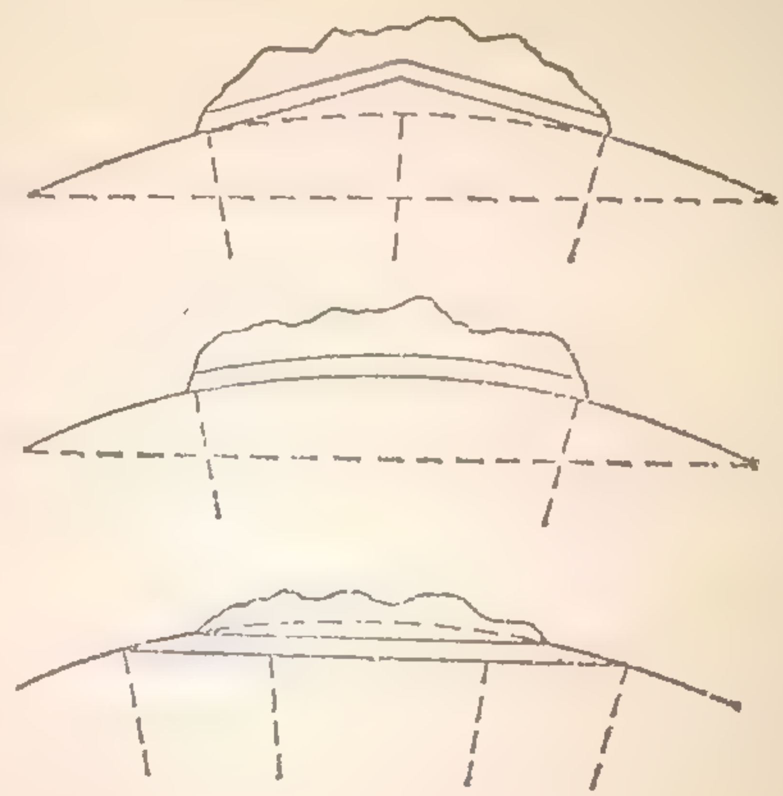


Рис. 46. Три способа прокладывать туннели сквозь горы.

Большие туннели прорывают обыкновенно так, как показано вверху: по прямым линиям, касательным к земной поверхности в крайних точках туннеля. Такой туннель сначала идет немного вверх, затем вниз. Он представляет то удобство, что вода не застаивается в нем, а сама стекает к краям.

Если бы туннель прокладывался строго горизонтально, то длинный туннель имел бы дугообразную форму. Вода не могла бы вытекать из него, так как в каждой его точке находилась бы в равновесии. Когда такой туннель длиннее 15 км, то, стоя у одного выхода, нельзя видеть другого: луч зрения упирается в потолок, так как средняя точка такого туннеля более чем на 4 м возвышается над его конечными точками.

Наконец, если проложить туннель по прямой линии, соединяющей крайние точки, он будет с обоих концов иметь легкий наклон *вниз* к середине. Вода не только не будет вытекать из него, но, напротив, скопится в средней, самой низкой его части. Зато, стоя у одного конца такого туннеля, можно будет видеть другой. Рис. 46 поясняет сказанное *).

*) Из изложенного следует, между прочим, что все горизонтальные линии — *кривые*; прямых горизонтальных линий быть не может. Вертикальные же, напротив, могут быть только прямые.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ПУТЕШЕСТВИЕ В ПУШЕЧНОМ СНАРЯДЕ

В заключение наших бесед о законах движения и силы притяжения разберем то фантастическое путешествие на Луну, которое так занимательно описано Жюлем Верном *) в романах «С Земли на Луну» и «Вокруг Луны». Вы, конечно, помните, что члены Пушечного клуба Балтиморы, обреченные на бездеятельность с окончанием Североамериканской войны, решили отлить колоссальную пушку, зарядить ее огромным полым снарядом и, посадив внутрь пассажиров, выстрелом отправить снаряд-вагон на Луну.

Фантастична ли эта мысль? И прежде всего: можно ли сообщить телу такую скорость, чтобы оно безвозвратно покинуло земную поверхность?

Ньютонова гора

Предоставим слово гениальному Ньютону, открывшему закон всемирного тяготения. В своих «Математических началах физики» он пишет (приводим отрывок ради облегчения понимания в вольном переводе):

«Брошенный камень под действием тяжести отклоняется от прямолинейного пути и падает на Землю, описывая кривую линию. Если бросить камень с большей скоростью, то он полетит дальше; поэтому может случиться, что он опишет дугу в десять, сто, тысячи миль и, наконец, выйдет за пределы Земли и не вернется на все больше. Пусть *AFB* (рис. 47) представляет поверхность Земли, *C* — ее центр, а *UD*, *UE*, *UF*, *UG* — кривые линии, которые описывает тело, бросаемое в горизонтальном направлении с очень высокой горы со все большей и большей скоростью. Мы не принимаем во внимание противодействия атмосферы, т. е. предполагаем, что она совершенно отсутствует. При меньшей первоначальной скорости тело описывает кривую *UD*, при большей скорости — кривую *UE*, при еще бóльших скоростях — кривые *UF*, *UG*. При некоторой скорости тело обойдет вокруг всей Земли и возвратится к вершине горы, с которой его бросили. Так как при возвращении к исходному пункту

*) Перевод Марка Бовчка озаглавлен «Из пушки на Луну».

кту скорость тела будет не меньше, чем в самом начале, то тело будет продолжать двигаться и дальше по той же кривой».

Если бы на этой воображаемой горе была пушка, то выброшенный ею снаряд при известной скорости никогда не упал бы обратно на Землю, а стал бы безостановочно вращаться вокруг земного шара. Путем довольно простого расчета *) нетрудно определить, что это должно наступить при скорости около 8 км в секунду. Другими словами, снаряд, выбрасываемый пушкой со скоростью 8 км в секунду, навсегда покидает поверхность земного шара и становится спутником нашей планеты. Он будет мчаться в 17 раз быстрее, чем какая-либо точка на экваторе, и опишет полный оборот вокруг нашей планеты за 1 ч 24 мин.



Рис. 47. Как должны падать камни, бросаемые на вершине горы с огромной скоростью в горизонтальном направлении.

Если же сообщить снаряду бо́льшую скорость, он будет вращаться около Земли уже не по кругу, а по более или менее вытянутому эллипсу, удаляясь от Земли на огромное расстояние. При еще большей начальной скорости снаряд навсегда удалится от нашей планеты в мировое пространство. Это должно наступить при начальной скорости около 11 км/с. (Во всех этих рассуждениях имеются в виду снаряды, движущиеся в *пустом* пространстве, а не в воздушной среде.)

Теперь посмотрим, можно ли осуществить полет на Луну тем способом, который предлагал Жюль Верн. Современные пушки сообщают снарядам скорость не более двух километров в первую секунду. Это в пять раз меньше той скорости, с какой тело может полететь на Луну. Герои романа думали, что если они соорудят исполинскую пушку и зарядят ее огромным количеством взрывчатых веществ, им удастся получить скорость, достаточную, чтобы отправить снаряд на Луну.

*) См. гл. 2 моей первой книги «Занимательная физика».

Фантастическая пушка

И вот члены Пушечного клуба отливают гигантскую пушку, длиной в четверть километра, отвесно врытую в Землю. Изготовляют соответственно снаряд массой 8 т, который внутри представляет собой каюту для пассажиров. Заряжают пушку хлопчатобумажным порохом — пироксилином — в количестве 160 т. В результате взрыва снаряд, если верить романисту, приобретает скорость 16 км/с, но вследствие трения о воздух скорость эта уменьшается до 11 км/с. Таким образом, очутившись за пределами атмосферы, жюль-верновский снаряд обладает скоростью, достаточной, чтобы долететь до Луны.

Так описывается в романе. Что же может сказать об этом физика?

Проект Жюля Верна уязвим совсем не в том пункте, куда обычно направляется сомнение читателя. Прежде всего, можно доказать (я доказываю это в книге «Межпланетные путешествия»), что пороховые пушки никогда не смогут сообщить снарядам скорости большей 3 км/с [1].

Кроме того, Жюль Верн не посчитался с сопротивлением воздуха, которое при такой огромной скорости должно быть весьма велико и совершенно изменит картину полета. Но и помимо этого имеются серьезные возражения против проекта полета на Луну в артиллерийском снаряде.

Главные опасения вызывает участь самих пассажиров. Не думайте, что опасность грозит им во время полета от Земли до Луны. Если бы им удалось остаться живыми к тому моменту, когда они покинут жерло пушки, то во время дальнейшего путешествия им нечего уже было бы опасаться. Огромная скорость, с которой пассажиры будут мчаться в мировом пространстве вместе с их вагоном, столь же безвредна для них, как безвредна для нас, обитателей Земли, та еще бóльшая скорость, с какой земной шар мчится вокруг Солнца.

Тяжелая шляпа

Самый опасный момент для наших путешественников представили бы те несколько сотых долей секунды, в течение которых каюта-снаряд движется в канале пушки. Ведь в течение этого ничтожно малого промежутка времени скорость, с какой пассажиры будут двигаться в пушке, должна возрасти от 0 до 16 км/с! Недаром в романе пасса-

жиры с таким трепетом ожидали выстрела. И Барбикен был вполне прав, утверждая, что момент, когда снаряд полетит, будет для пассажиров столь же опасен, как если бы они находились не внутри, а впереди снаряда. Действительно: в момент выстрела нижняя площадка каюты ударит пассажиров снизу с такой же силой, с какой налетел бы снаряд на всякое тело, находящееся на его пути. Герои романа отнеслись к этой опасности чересчур легко, воображая, что отделаются в худшем случае только приливом крови к голове...

Дело обстоит серьезнее. В канале ствола снаряд движется ускоренно: скорость его растет под постоянным напором газов, образующихся при взрыве. В течение ничтожной доли секунды скорость эта возрастает от 0 до 16 км/с. Допустим для простоты, что возрастание скорости совершается равномерно; тогда ускорение, необходимое для того, чтобы в столь ничтожное время довести скорость снаряда до 16 км/с, достигнет здесь круглым счетом 600 км/с^2 (вычисления приведены далее на с. 81).

Роковое значение этой цифры мы вполне поймем, если вспомним, что обычное ускорение свободного падения на земной поверхности равняется около 10 м/с^2. Отсюда следует, что каждый предмет внутри снаряда в момент выстрела оказывал бы на дно каюты давление, которое в 60 000 раз больше веса этого предмета. Другими словами: пассажиры чувствовали бы, что сделались словно в несколько десятков тысяч раз тяжелее! Под действием такой колоссальной тяжести они были бы мгновенно раздавлены. Один цилиндр мистера Барбикена весил бы в момент выстрела не менее 15 тс; такой шляпы более чем достаточно, чтобы раздавить ее владельца *).

Правда, в романе описаны меры, принятые для ослабления удара: ядро снабжено пружинными буферами и двойным дном с водой, заполняющей пространство в нем. Продолжительность удара от этого немного растягивается, и, следовательно, быстрота нарастания скорости ослабевает. Но при огромных силах, с которыми приходится здесь иметь дело, выгода от этих приспособлений получается мизерная. Сила, которая будет придавливать пассажиров к полу, уменьшается на ничтожную долю,— а не все ли равно, быть раздавленным шляпой в 15 или 14 тс?!

*) Прибавлю еще, что ускорение гоночного автомобиля, начинающего свое быстрое движение, не превышает 2—3 м/с^2, а ускорение поезда, плавно отходящего от станции, 1 м/с^2.

Как ослабить сотрясение?

Механика дает указание на то, как можно было бы ослабить роковую быстроту нарастания скорости. Этого можно достигнуть, если во много раз *удлинить ствол пушки*.

Удлинение потребуется, однако, весьма значительное, если мы хотим, чтобы в момент выстрела сила «искусственной» тяжести внутри снаряда равнялась силе обыкновенной тяжести на земном шаре. Приблизительный расчет показывает, что для этого нужно было бы изготовить пушку длиной ни много ни мало в 6000 км! Другими словами, жюль-вернова колумбиада должна бы простираться в глубь земного шара до самого его центра... Тогда пассажиры могли бы быть избавлены от всяких неприятностей: к их обычному весу прибавлялся бы еще только такой же кажущийся вес вследствие медленного нарастания скорости, и они чувствовали бы, что стали всего вдвое тяжелее.

Впрочем, в течение короткого промежутка человеческий организм способен без вреда переносить увеличение веса в несколько раз. Когда мы скатываемся с ледяной горы вниз и здесь быстро меняем направление своего движения, вес наш в этот краткий миг заметно увеличивается, т. е. тело наше прижимается к санкам сильнее обычного. Увеличение веса раза в три переносится нами довольно благополучно. Если допустить, что человек может безвредно переносить в течение короткого времени даже десятикратное увеличение веса, то достаточно будет отлить пушку «всего» в 600 км длиной. Однако это малоутешительно, потому что и подобное сооружение лежит за пределами технически возможного [2]).

Вот при каких лишь условиях мыслимо осуществление заманчивого проекта Жюля Верна: полететь на Луну в пушечном снаряде *).

---

*) Описывая в романе условия жизни внутри летящего пушечного снаряда, Жюль Верн сделал существенное упущение, о котором подробно говорится в первой книге «Занимательная физика». Романист не принял в расчет, что *после выстрела во все время перелета предметы внутри снаряда будут совершенно невесомы*, так как сила тяжести сообщает одинаковые ускорения и снаряду и всем телам в нем (см. также далее статью «Недостающая глава в романе Жюля Верна»).

Для друзей математики

Среди читателей этой книги, без сомнения, найдутся и такие, которые пожелают сами проверить расчеты, упомянутые выше. Приводим здесь эти вычисления. Они верны лишь приблизительно, так как основаны на допущении, что в канале пушки снаряд движется равномерно-ускоренно (в действительности же возрастание скорости происходит неравномерно).

Для расчетов придется пользоваться следующими двумя формулами равномерно-ускоренного движения:

скорость v по истечении времени t равна

$$v = at,$$

где a — ускорение;

путь S, пройденный за время t, определяется формулой

$$S = \frac{at^2}{2}.$$

По этим формулам определим прежде всего ускорение снаряда, когда он скользил в канале «колумбиады».

Из романа известна длина части пушки, не занятой зарядом,— 210 м; это и есть пройденный снарядом путь S. Мы знаем и конечную скорость: $v = 16$ км/с. Данные S и v позволяют определить время t — продолжительность движения снаряда в канале орудия (рассматривая это движение как равномерно-ускоренное). В самом деле:

$$v = at = 16\,000 \text{ м/с},$$

$$210 \text{ м} = S = \frac{at \cdot t}{2} = \frac{16\,000 \text{ м/с} \cdot t}{2} = 8000 \text{ м/с} \cdot t,$$

откуда

$$t = \frac{210 \text{ м}}{8000 \text{ м/с}} \approx \frac{1}{40} \text{ с}.$$

Снаряд, оказывается, скользил бы внутри пушки всего 1/40 секунды! Подставив $t = 1/40$ в формулу $v = at$, имеем

$$16\,000 \text{ м/с} = \frac{1}{40} \text{ с} \cdot a, \text{ откуда } a = 640\,000 \text{ м/с}^2.$$

Значит, ускорение снаряда при движении в канале равно 640 000 м/с², т. е. в 64 000 раз больше ускорения свободного падения!

Какой же длины должна быть пушка, чтобы ускорение снаряда было всего в 10 раз больше ускорения падающего тела (т. е. равнялось бы 100 м/с²)?

Это — задача, обратная той, которую мы сейчас решили. Данные: $a=100$ м/с², $v=11\,000$ м/с (при отсутствии сопротивления атмосферы такая скорость достаточна).

Из формулы $v=at$ имеем

$$11\,000 \text{ м/с} = 100 \text{ м/с}^2 \cdot t, \text{ откуда } t = 110 \text{ с}.$$

Длина пушки должна равняться

$$S = \frac{at \cdot t}{2} = \frac{11\,000 \text{ м/с} \cdot 110 \text{ с}}{2} = 605\,000 \text{ м},$$

т. е. круглым счетом 600 км.

Такими вычислениями получены те цифры, которые разрушают заманчивые планы героев Жюля Верна.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Море, в котором нельзя утонуть

Такое море известно человечеству с древнейших времен. Это знаменитое Мертвое море. Воды этого моря необыкновенно солены, настолько, что в них не может жить ни одно живое существо. Знойный, без дождей климат Западной Азии вызывает сильное испарение воды с поверхности моря. Но испаряется только чистая вода, растворенные же соли остаются в море и увеличивают соленость воды. Вот почему вода Мертвого моря содержит не 2—3% соли (по массе), как большинство морей и океанов, а 27% и более; с глубиной соленость растет. Итак, четвертую часть содержимого Мертвого моря составляют соли, растворенные в его воде. Общее количество солей в нем оценивается в 40 млн. тонн.

Высокая соленость Мертвого моря обусловливает одну его особенность: вода этого моря значительно тяжелее обыкновенной морской воды. Утонуть в такой тяжелой жидкости нельзя: человеческое тело легче ее.

Вес нашего тела заметно меньше веса равного объема густо-соленой воды и, следовательно, по закону плавания, человек не может в Мертвом море утонуть; он всплывает в нем, как всплывает в соленой воде куриное яйцо (которое в пресной тонет).

Юморист Марк Твен, посетивший это озеро-море, с комичной обстоятельностью описывает необычайные ощущения, которые он и его спутники испытали, купаясь в тяжелых водах Мертвого моря:

«Это было забавное купанье! Мы не могли утонуть. Здесь можно вытянуться на воде во всю длину, лежа на спине и сложив руки на груди, причем большая часть тела будет оставаться над водой. При этом можно совсем поднять голову... Вы можете лежать очень удобно на спине, подняв колени к подбородку и охватив их руками,— но вскоре перевернетесь, так как голова перевешивает. Вы можете встать на голову — и от середины груди до конца ног будете оставаться вне воды; но вы не сможете долго сохранять такое

положение. Вы не можете плыть на спине, подвигаясь сколько-нибудь заметно, так как ноги ваши торчат из воды и вам приходится отталкиваться только пятками. Если же вы плывете лицом вниз, то подвигаетесь не вперед, а назад. Лошадь так неустойчива, что не может ни плавать, ни стоять в Мертвом море,— она тотчас же ложится на бок».

На рис. 48 вы видите человека, довольно удобно расположившегося на поверхности Мертвого моря; большая плотность воды позволяет ему в этой позе читать книгу, защищаясь зонтиком от жгучих лучей солнца.

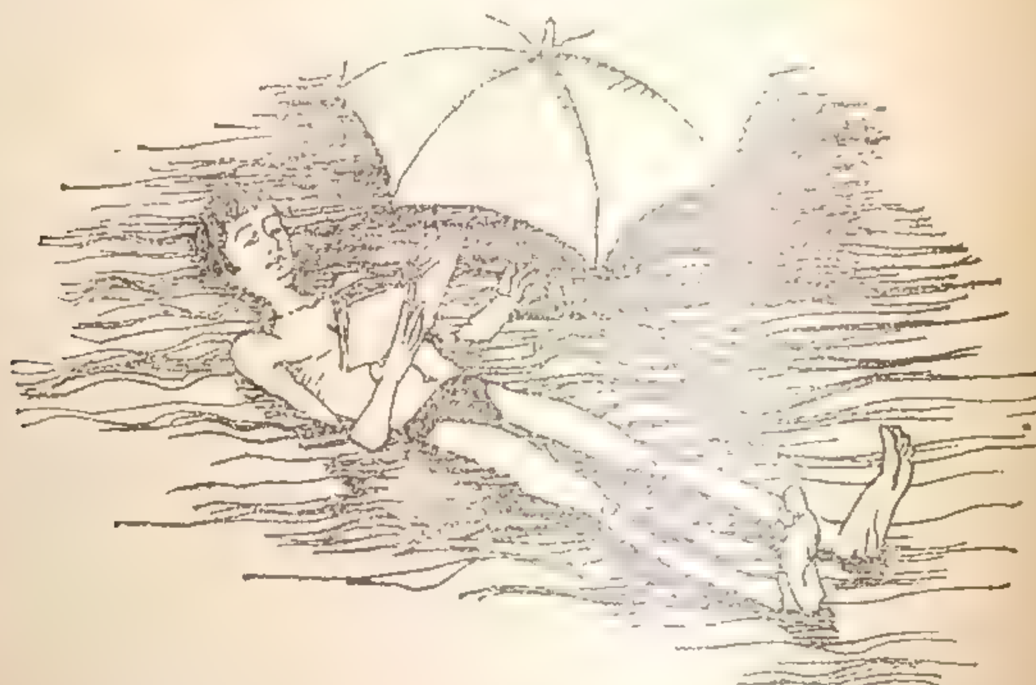


Рис. 48. Человек на поверхности Мертвого моря.

Такими же необычайными свойствами обладает вода Кара-Богаз-Гола (залива Каспийского моря) *) и не менее соленая вода озера Эльтон, содержащая 27% солей.

Нечто в этом роде приходится испытывать тем больным, которые принимают соленые ванны. Если соленость воды очень велика, как, например, в Старорусских минеральных водах, то больному приходится прилагать немало усилий, чтобы удержаться на дне ванны. Я слышал, как женщина, лечившаяся в Старой Руссе, с возмущением жаловалась, что вода «положительно выталкивала ее из ванны». Кажется, она склонна была винить в этом не закон Архимеда, а администрацию курорта...

---

*) Плотность воды Кара-Богаз-Гола 1,18 г/см³. «В такой плотной воде можно плавать без применения усилий и, не обходя закона Архимеда, утонуть невозможно»,— замечает по этому поводу исследователь (*Пельш А. Д.* Карабугаз, 1934) [1].

Степень солености воды в различных морях несколько колеблется, — и соответственно этому суда сидят не одинаково глубоко в морской воде. Быть может, некоторым из читателей случалось видеть на борту судна близ ватерлинии так называемую «Ллойдовскую марку» — знак, показывающий уровни предельных ватерлиний в воде различной плотности. Например, изображенная на рис. 49 грузовая марка означает уровни предельных ватерлиний:

в пресной воде (Fresch Water)	FW
в Индийском океане летом (India Summer)	IS
в соленой воде летом (Summer)	S
в соленой воде зимой (Winter)	W
в Северном Атлантическом океане зимой (Winter North Atlantik)	WNA

У нас эти марки введены как обязательные с 1909 г. [2]).

Заметим в заключение, что существует разновидность воды, которая и в чистом виде, без всяких примесей, заметно тяжелее обыкновенной; ее плотность 1,1 г/см³, т. е.

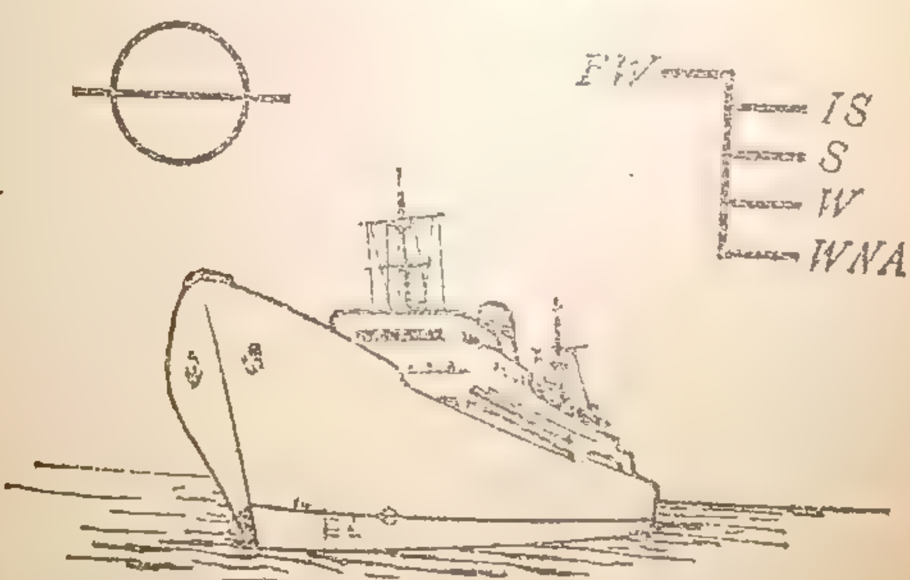


Рис. 49. Грузовая марка на борту корабля.

на 10% больше, чем обыкновенной; следовательно, в бассейне с такой водой человек, даже не умеющий плавать, едва ли мог бы утонуть. Такую воду назвали «тяжелой» водой; ее химическая формула D_2O (входящий в ее состав изотоп водорода состоит из атомов, вдвое тяжелее атомов обыкновенного водорода, и обозначается буквой D). «Тяжелая» вода в незначительном количестве растворена в обыкновенной: в ведре питьевой воды ее содержится около 8 г.

Тяжелая вода состава D_2O (разновидностей тяжелой воды различного состава возможно семнадцать [3])) в настоящее время добывается уже почти в чистом виде; примесь обыкновенной воды составляет менее 0,05%.

Как работает ледокол?

Принимая ванну, не упустите случая проделать следующий опыт. Прежде чем покинуть ванну, откройте ее выпускное отверстие, продолжая лежать на ее дне. По мере того как станет выступать над водой все бо́льшая и бо́льшая часть вашего тела, вы будете ощущать постепенное его отяжеление. Самым наглядным образом убедитесь вы при этом, что вес, утрачиваемый телом в воде (вспомните, как легко чувствовали вы себя в ванне!), появляется вновь, лишь только тело оказывается вне воды.

Когда такой опыт невольно проделывает кит, очутившись во время отлива на мели, последствия оказываются для животного роковыми: его раздавит собственным чудовищным весом. Недаром киты живут в водной стихии: выталкивающая сила жидкости спасает их от гибельного действия силы тяжести.

Сказанное имеет прямое отношение к заголовку настоящей статьи. Работа ледокола основана на том же физическом явлении: вынесенная из воды часть корабля перестает уравновешиваться выталкивающей силой воды и приобретает свой «сухопутный» вес. Не следует думать, что ледокол разрезает лед на ходу непрерывным давлением своей носовой части — напором форштевня. Так работают *не ледоколы, а ледорезы.* Этот способ действия пригоден только для льда сравнительно незначительной толщины.

Подлинные морские ледоколы — такие, как «Красин» или «Ермак»,— работают иначе. Действием своих мощных машин ледокол надвигает на поверхность льда свою носовую часть, которая с этой целью устраивается сильно скошенной под водой. Оказавшись вне воды, нос корабля приобретает полный свой вес, и этот огромный груз (у «Ермака» этот вес доходил, например, до 800 тс) обламывает лед. Для усиления действия в носовые цистерны ледокола нередко накачивают еще воду — «жидкий балласт».

Так действует ледокол до тех пор, пока толщина льда не превышает полуметра. Более мощный лед побеждается *ударным* действием судна. Ледокол отступает назад и налетает всей своей массой на кромку льда. При этом действует уже не вес, а кинетическая энергия движущегося корабля; судно превращается словно в артиллерийский снаряд с небольшой скоростью, зато с огромной массой, в таран.

Ледяные торосы в несколько метров высотой разбиваются энергией многократных ударов прочной носовой части ледокола.

Участник знаменитого перехода «Сибирякова» в 1932 г., моряк-полярник Н. Марков, так описывает работу этого ледокола:

«Среди сотен ледяных скал, среди сплошного покрова льда «Сибиряков» начал битву. Пятьдесят два часа подряд стрелка машинного телеграфа прыгала от «полного назад» к «полному вперед». Тринадцать четырехчасовых морских вахт «Сибиряков» с разгона врезался в лед, крошил его носом, влезал на лед, ломал его и снова отходил назад. Лед, толщиной в три четверти метра, с трудом уступал дорогу. С каждым ударом пробивались на треть корпуса».

Самыми крупными и мощными в мире ледоколами располагает СССР [4]).

Где находятся затонувшие суда?

Распространено мнение,— даже среди моряков,— будто суда, затонувшие в океане, не достигают морского дна, а висят неподвижно на некоторой глубине, где вода «соответственно уплотнена давлением вышележащих слоев».

Мнение это разделял, по-видимому, даже автор «Двадцати тысяч лье под водой»; в одной из глав этого романа Жюль Верн описывает неподвижно висящее в воде затонувшее судно, а в другой упоминает о кораблях, «догнивающих, свободно вися в воде».

Правильно ли подобное утверждение?

Некоторое основание для него, как будто, имеется, так как давление воды в глубинах океана действительно достигает огромных степеней. На глубине 10 м вода давит с силой 1 кгс на 1 см^2 погруженного тела. На глубине 20 м это давление равно уже 2 кгс, на глубине 100 м — 10 кгс, 1000 м — 100 кгс. Океан же во многих местах имеет глубину в несколько километров, достигая в самых глубоких частях Тихого океана более 11 км (Марианская впадина). Легко вычислить, какое огромное давление должны испытывать вода и погруженные в нее предметы на этих огромных глубинах.

Если порожнюю закупоренную бутылку опустить на значительную глубину и затем извлечь вновь, то обнаружится, что давление воды вогнало пробку внутрь бутылки и вся посудина полна воды. Знаменитый океанограф Джон Меррей в своей книге «Океан» рассказывает, что был про-

делан такой опыт: три стеклянные трубки различных размеров, с обоих концов запаянные, были завернуты в холст и помещены в медный цилиндр с отверстиями для свободного пропуска воды. Цилиндр был спущен на глубину 5 км. Когда его извлекли оттуда, оказалось, что холст наполнен снегообразной массой: это было раздробленное стекло. Куски дерева, опущенные на подобную глубину, после извлечения тонули в воде, как кирпич,— настолько они были сдавлены.

Естественно, казалось бы, ожидать, что столь чудовищное давление должно настолько уплотнить воду на больших глубинах, что даже тяжелые предметы не будут в ней тонуть, как не тонет железная гиря в ртути.

Однако подобное мнение совершенно не обосновано. Опыт показывает, что вода, как и вообще жидкости, мало поддается сжатию. Сдавливаемая силой 1 кгс на 1 см² вода сжимается всего только на 1/22 000 долю своего объема и примерно так же сжимается при дальнейшем возрастании давления на каждую килограмм-силу. Если бы мы пожелали довести воду до такой плотности, чтобы в ней плавало железо, необходимо было бы уплотнить ее в 8 раз. Между тем для уплотнения только вдвое, т. е. для сокращения объема наполовину, необходимо давление 11 000 кгс на 1 см² (если бы только упомянутая мера сжатия имела место для таких огромных давлений). Это соответствует глубине 110 км под уровнем океана!

Отсюда ясно, что говорить о сколько-нибудь заметном уплотнении воды в глубине океанов совершенно не приходится. В самом глубоком их месте вода уплотнена лишь на 1100/22000, т. е. на 1/20 нормальной своей плотности,— всего на 5% *). Это почти не может повлиять на условия плавания в ней различных тел,— тем более, что твердые предметы, погруженные в такую воду, также подвергаются этому давлению и, следовательно, тоже уплотняются.

Не может быть поэтому ни малейшего сомнения в том, что затонувшие суда покоятся на дне океана. «Все, что тонет в стакане воды,— говорит Меррей,— должно пойти ко дну и в самом глубоком океане».

---

*) Английский физик Тэт вычислил, что если бы земное притяжение внезапно прекратилось и вода сделалась невесомой, то уровень воды в океане поднялся бы в среднем на 35 м (вследствие того, что сжатая вода приобрела бы нормальный объем). «Океан затопил бы 5 000 000 км² суши, обязанной своим надводным существованием лишь сжимаемости окружающих ее вод океанов».

Мне приходилось слышать против этого такое возражение. Если осторожно погрузить стакан *вверх дном* в воду, он может остаться в этом положении, так как будет вытеснять объем воды, весящий столько же, сколько стакан. Более тяжелый металлический стакан может удержаться в подобном положении и ниже уровня воды, не опускаясь на дно. Точно так же, будто бы, может остановиться на полпути и опрокинутый вверх килем крейсер или другое судно. Если в некоторых помещениях судна воздух окажется плотно запертым, то судно погрузится на определенную глубину и там остановится.

Не мало ведь судов идет ко дну в перевернутом состоянии — и возможно, что некоторые из них так и не достигают дна, оставаясь висеть в темных глубинах океана. Достаточно было бы легкого толчка, чтобы вывести такое судно из равновесия, перевернуть, наполнить водой и заставить упасть на дно, — но откуда взяться толчкам в глубине океана, где вечно царит тишина и спокойствие и куда не проникают даже отголоски бури?

Все эти доводы основаны на физической ошибке. Перевернутый стакан *не погружается в воду сам* — его надо *внешней силой* погрузить в воду, как кусок дерева или пустую закупоренную бутылку. Точно так же и опрокинутый килем вверх корабль вовсе не начнет тонуть, а останется на поверхности воды. Оказаться на полпути между уровнем океана и его дном он никак не может.

Как осуществились мечты Жюля Верна и Уэллса

Реальные подводные лодки нашего времени в некоторых отношениях не только догнали фантастический «Наутилус» Жюля Верна, но даже превзошли его. Правда, скорость хода нынешних подводных крейсеров вдвое меньше чем у «Наутилуса»: 24 узла против 50 узлов у Жюля Верна (узел — около 1,8 км/ч) [5]). Самый длинный переход современного подводного корабля — кругосветное путешествие, между тем как капитан Немо совершил поход вдвое длиннее. Зато «Наутилус» обладал водоизмещением только 1500 тс, имел на борту команду всего из двух-трех десятков человек и способен был оставаться под водой без перерыва не более сорока восьми часов. Подводный крейсер «Сюркуф», построенный в 1929 г. и принадлежавший французскому флоту, имел водоизмещение 3200 тс, управлялся

командой из ста пятидесяти человек и способен был [illegible] под водой, не всплывая, до ста двадцати [illegible]

[illegible] Франции [illegible] Мадагаскар [illegible]

[illegible] от [illegible] крейсер [illegible] не [illegible] по пути [illegible] на один порт. [illegible] «Наутилусу». [illegible] «Сюркуф», [illegible] Немо и то [illegible] «Сюркуф» имел перед [illegible] крейсера [illegible] преимущество, [illegible] разведывательно[illegible] водонепроницаемый [illegible] Верн не [illegible] го гидросамолета. [illegible] возможность [illegible] «Наутилус» перископом, [illegible] горизонт из-под воды.

В одном лишь отношении [illegible] подводные корабли [illegible] от фантазии француз[illegible] [illegible] приходи[illegible] [illegible] Верна [illegible] решила границы правдоподобия. [illegible] Немо,— читаем в одном месте романа,— достигал глубины в три, четыре, пять, семь, девять и [illegible] поверхности океана. А однажды «Наутилус» [illegible] даже на небывалую глубину — в 16 [illegible] [illegible] скрепы железной обшивки подводного [illegible] изгибаются его распоры, как подаются внутрь [illegible] давлению воды. Если бы корабль наш не обладал прочностью сплошного литого тела, его [illegible] сплющило бы в лепешку».

Опасение вполне уместное, потому что на глубине 16 км (если бы такая глубина имелась в океане) давление воды должно было бы достигать

$$16\,000 : 10 = 1600 \text{ кгс/см}^2,$$

или 1600 атм; такое давление не раздробляет железа, но безусловно смяло бы конструкцию. Однако подобной глубины океанография не знает. Преувеличенные представления о глубинах океана, господствовавшие в эпоху Жюля Верна (роман написан в 1869 г.), объясняются несовершенством способов измерения глубины. В те времена для линя лота употреблялась не проволока, а пеньковая веревка; такой лот задерживался трением о воду тем сильнее, чем глубже он погружался; на значительной глубине трение возрастало до того, что лот вовсе переставал опус-

каться, сколько ни травили линь: пеньковая веревка линь спутывалась, создавая впечатление огромной глубины.

Подводные корабли нашего времени способны выдерживать давление не более 25 атм; это определяет наибольшую глубину их погружения: 250 м. Гораздо большей глубины удалось достигнуть в особом аппарате, названном «батисферой» (рис. 50) и предназначенном специально для изучения фауны океанских пучин *). Этот аппарат напоминает,

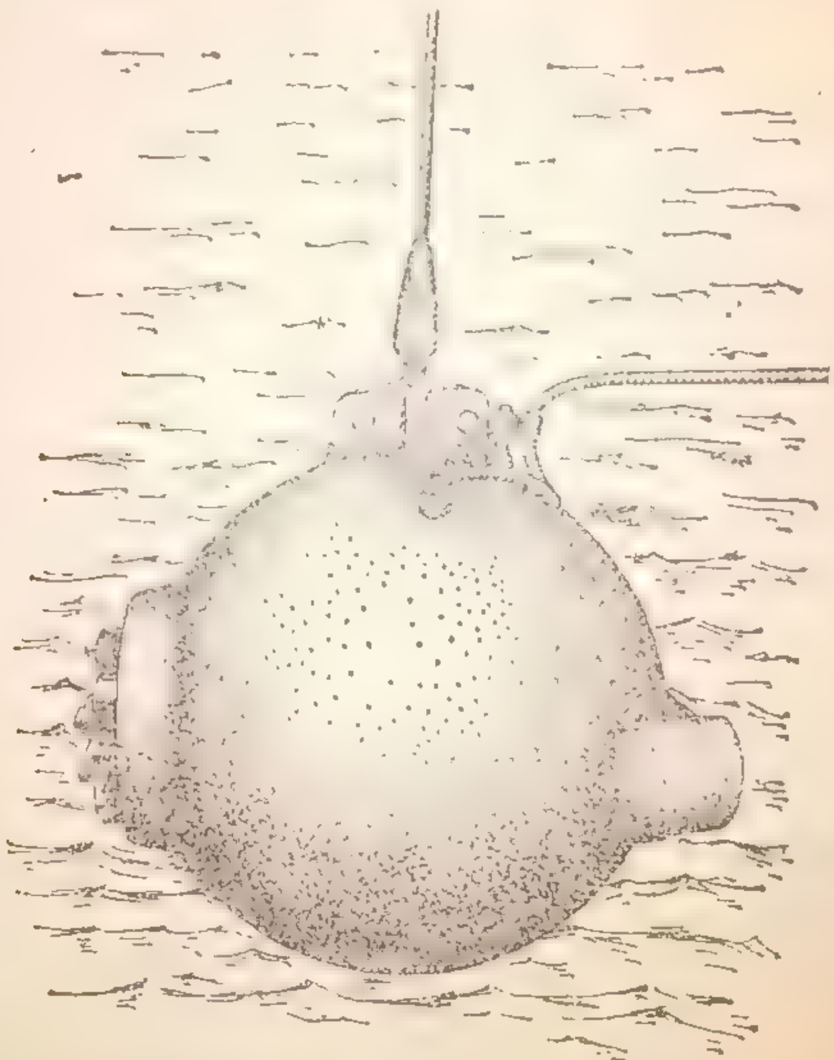


Рис. 50. Стальной шарообразный аппарат «батисфера» для спуска в глубокие слои океана.

однако, не «Наутилус» Жюля Верна, а фантастическое создание другого романиста — глубоководный шар Уэллса, описанный в рассказе «В морской глубине». Герой этого рассказа спустился до дна океана на глубину 9 км в толстостенном стальном шаре; аппарат погружался без троса, но со съемным грузом; достигнув дна океана, шар освободился здесь от увлекавшего его груза и стремительно взлетел на поверхность воды.

В батисфере ученые достигали глубины более 900 м. Батисфера спускается на тросе с судна, с которым сидящие в шаре поддерживают связь [7]).

*) В этом аппарате Вильям Бийб достиг в 1934 г. глубины 923 м. Толщина стенок шара около 4 см, диаметр 1,5 м, масса 2,5 т.

Как был поднят «Садко»?

В широком просторе океана гибнут ежегодно тысячи крупных и мелких судов, особенно в военное время. Наиболее ценные и доступные из затонувших кораблей стали извлекать со дна моря. Советские инженеры и водолазы, входящие в состав ЭПРОН (Экспедиции подводных работ особого назначения), прославились на весь мир успешным подъемом более чем 150 крупных судов. Среди них одно из самых больших — ледокол «Садко», затонувший на Белом море в 1916 г. из-за халатности капитана. Пролежав на морском дне 17 лет, этот превосходный ледокол был поднят работниками ЭПРОН и вступил опять в строй.

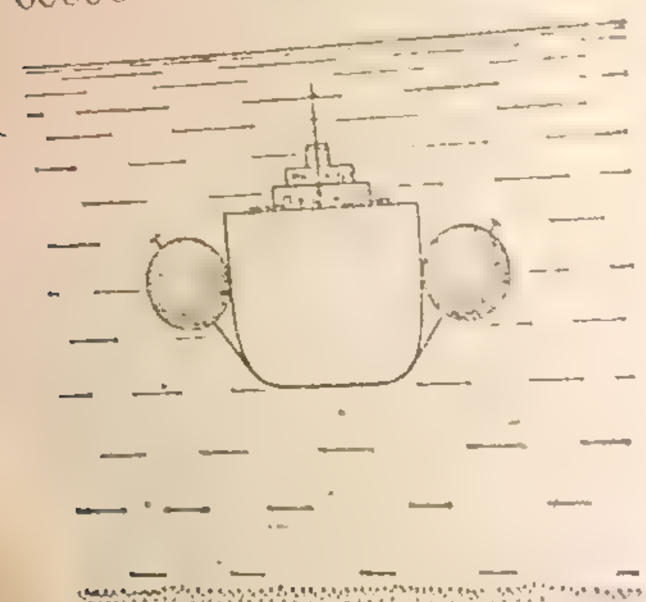


Рис. 51. Схема подъема «Садко».

Техника подъема была всецело основана на применении закона Архимеда. Под корпусом затонувшего судна в грунте морского дна водолазы прорыли 12 туннелей и протянули сквозь каждый из них прочные стальные стропы. Концы строп были прикреплены к понтонам, намеренно потопленным подле ледокола. Вся эта работа была выполнена на глубине 25 м под уровнем моря.

Понтонами (рис. 51) служили полые непроницаемые железные цилиндры 11 м длиной и 5,5 м в диаметре. Порожний понтон весил 50 тс. По правилам геометрии легко вычислить его объем: около 250 м^3. Ясно, что такой цилиндр порожняком должен плавать на воде: он вытесняет 250 тс воды, сам же весит только 50 тс; грузоподъемность его равна разности между 250 и 50, т. е. 200 тс. Чтобы заставить понтон опуститься на дно, его заполняют водой.

Когда (см. рис. 51) концы стальных строп были прочно прикреплены к потопленным понтонам, в цилиндры стали с помощью шлангов нагнетать сжатый воздух. На глубине 25 м вода давит с силой $(25/10+1)$ кгс/см$^2 \approx 3,5$ атм. Воздух же подавался в цилиндры под давлением около 4 атм. и, следовательно, должен был вытеснять воду из понтонов. Облегченные цилиндры с огромной силой выталкивались окружающей водой на поверхность моря. Они

всплывали в воде, как аэростат в воздухе. Совместная, подъемная их сила при полном вытеснении из них воды равнялась бы 200 тс · 12 = 2400 тс. Это превышало вес затонувшего «Садко», так что ради более плавного подъема понтоны были освобождены от воды только частично.

Тем не менее подъем осуществлен был лишь после нескольких неудачных попыток. Вот что писал руководивший работами главный корабельный инженер ЭПРОН Т. И. Бобрицкий *):

> «Четыре аварии терпела на нем спасательная партия, пока добилась успеха. Три раза, напряженно ожидая судна, мы видели вместо поднимающегося ледокола стихийно вырывающиеся наверх, в хаосе волн и пены, понтоны и разорванные, змеями извивающиеся шланги. Два раза показывался и снова исчезал в пучине моря ледокол, прежде чем всплыл и окончательно удержался на поверхности» [8]).

Водяной «вечный» двигатель

Среди множества проектов «вечного двигателя» было немало и таких, которые основаны на всплывании тел в воде (рис. 52 и 53). Высокая башня высотой 20 м наполнена водой. Вверху и внизу башни установлены шкивы, через которые перекинут прочный канат в виде бесконечного ремня. К канату прикреплено 14 полых кубических ящиков со стороной 1 м, склепанных из железных листов так, что внутрь ящиков вода проникнуть не может.

Как же действует эта установка? Каждый, знакомый с законом Архимеда, сообразит, что ящики, находясь в воде, будут стремиться всплыть вверх. Их увлекает вверх сила, равная весу воды, вытесняемой ящиками, т. е. весу 1 м³ воды, повторенному столько раз, сколько ящиков погружено в воду. Из рис. 53 видно, что в воде оказывается всегда 6 ящиков. Значит, сила, увлекающая погруженные ящики вверх, равна весу 6 м³ воды, т. е. 6 тс. Вниз же их тянет собственный вес ящиков, который, однако, уравновешивается весом 6 ящиков, свободно свисающих на наружной стороне каната.

Итак, канат, перекинутый указанным образом, будет всегда подвержен силе тяги в 6 тс, приложенной к одной его стороне и направленной вверх. Ясно, что сила эта заставит канат безостановочно вращаться, скользя по шки-

*) В книге: Завоевание глубин.— Л.: Молодая гвардия, 1936.

вам, и при каждом обороте заставит совершать работу в 6000 кгс · 20 м = 120 000 кгс · м.

Теперь понятно, что если усеять страну такими башнями, то мы сможем получать от них безграничное количество работы, достаточное для покрытия всех нужд народного хозяйства. Башни будут вращать якоря динамомашин и давать электрическую энергию в любом количестве!

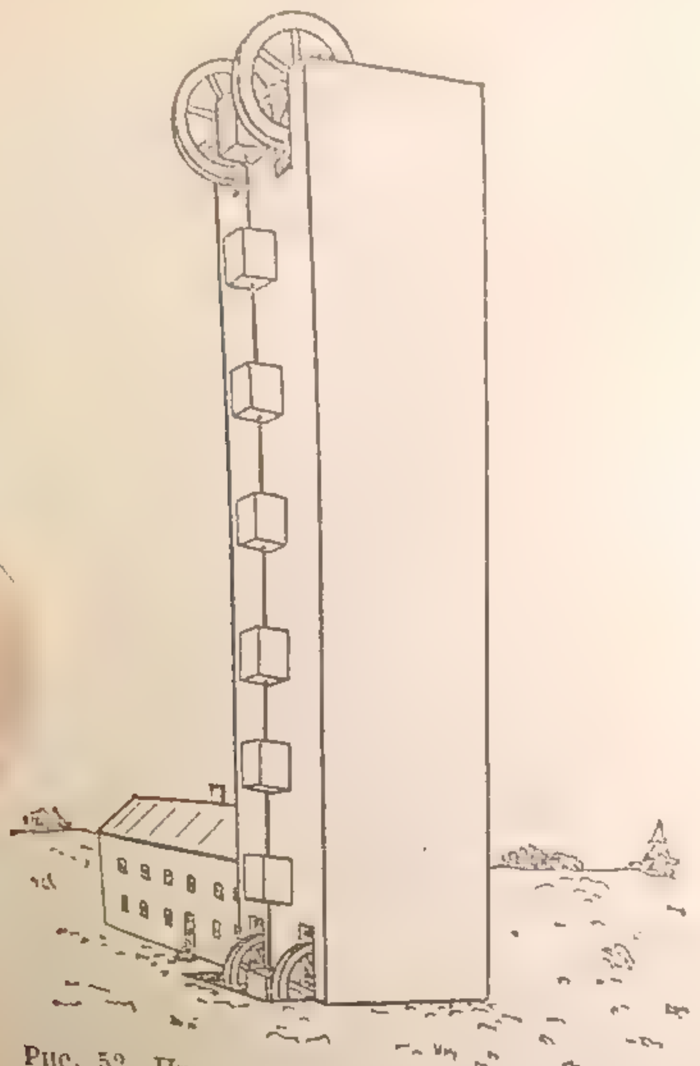


Рис. 52. Проект водяного «вечного» двигателя.

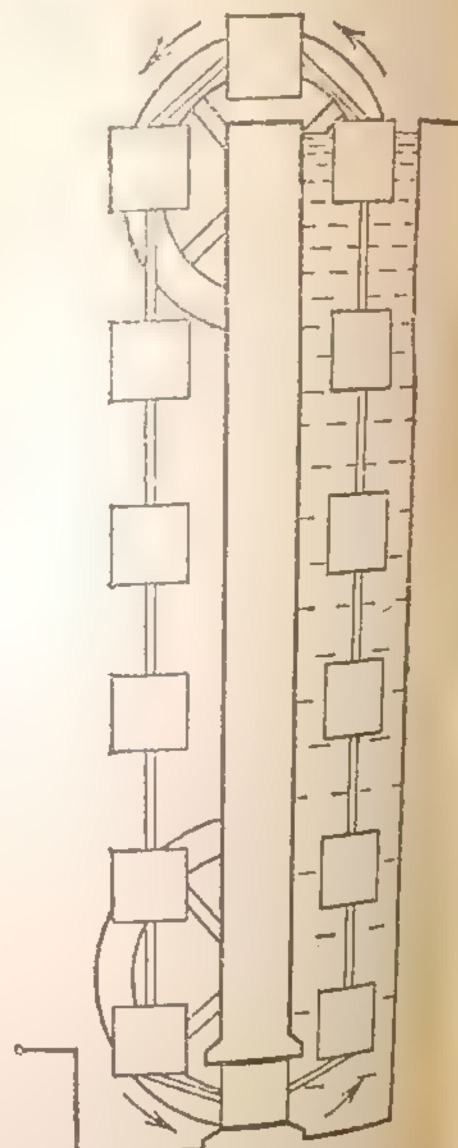


Рис. 53. Продольный разрез башни (см. рис. 52).

Однако если разобраться внимательно в этом проекте, то легко убедиться, что ожидаемого движения каната происходить вовсе не должно.

Чтобы бесконечный канат вращался, ящики должны входить в водяной бассейн башни снизу и покидать его сверху. Но ведь, вступая в бассейн, ящик должен *преодолеть давление столба воды* в 20 м высотой! Это давление на квадратный метр площади ящика равно ни много ни мало 20 тс (весу 20 м³ воды). Сила же тяги вверх составляет всего 6 тс, т. е. явно недостаточна, чтобы втащить ящик в бассейн.

Среди многочисленных образчиков водяных «вечных» двигателей, сотни которых придуманы были изобретателями

ми-неудачниками, можно найти очень простые и остроумные варианты.

Взгляните на рис. 54. Часть деревянного барабана, укрепленного на оси, все время погружена в воду. Если справедлив закон Архимеда, то погруженная в воду часть должна всплывать и, коль скоро выталкивающая сила больше силы трения на оси барабана, вращение никогда не прекратится...

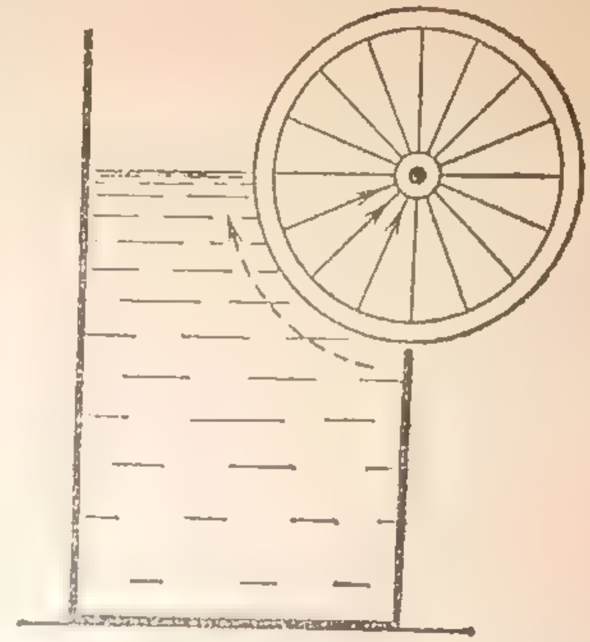


Рис. 54. Еще один проект водяного «вечного» двигателя.

Не спешите с постройкой этого «вечного» двигателя! Вас непременно постигнет неудача: барабан не сдвинется с места. В чем же дело, в чем ошибка наших рассуждений? Оказывается, мы не учли направления действующих сил. А направлены они будут всегда по перпендикуляру к поверхности барабана, т. е. по радиусу к оси. Из повседневного опыта каждый знает, что невозможно заставить колесо вращаться, прикладывая усилия вдоль радиуса колеса. Чтобы вызвать вращение, надо приложить усилие перпендикулярно к радиусу, т. е. по касательной к окружности колеса. Теперь уже нетрудно понять, почему и в этом случае закончится неудачей попытка осуществить вечное движение.

Закон Архимеда давал соблазнительную пищу уму искателей вечного двигателя и побуждал придумывать хитроумные приспособления для использования кажущейся потери веса в целях получения вечного источника механической энергии.

Кто придумал слова «газ» и «атмосфера»?

Слово «газ» принадлежит к числу слов, *придуманных* учеными наряду с такими словами, как «термометр», «электричество», «гальванометр», «телефон» и прежде всего «атмосфера». Старинный голландский химик и врач Гельмонт (1577—1644), современник Галилея, произвел «газ» от греческого слова «хаос». Открыв, что воздух состоит из двух частей, из которых одна поддерживает горение и сгорает, другая же не обладает этими свойствами, Гельмонт писал: «Такой пар я назвал *газ*, потому что он почти не от-

личается от *хаоса* древних» (первоначальный смысл слова «хаос» — сияющее пространство).

Однако новое словечко долго после этого не употреблялось и было возрождено лишь знаменитым Лавуазье в 1789 г. Оно получило широкое распространение, когда всюду заговорили о полетах братьев Монгольфье на первых воздушных шарах.

Ломоносов в своих сочинениях употреблял другое наименование для газообразных тел — «упругие жидкости». Заметим, кстати, что Ломоносову принадлежит заслуга введения в русскую речь ряда названий, ставших теперь стандартными словами научного языка: атмосфера, барометр, воздушный насос, вязкость, кристаллизация, материя, манометр, оптика, оптический, электрический, эфир и др.

Гениальный родоначальник русского естествознания писал по этому поводу: «Принужден я был искать слов для наименования некоторых физических инструментов, действий и натуральных вещей, которые (т. е. слова) хотя сперва покажутся несколько странны, однако надеюсь, что они со временем через употребление знакомее будут».

Как мы знаем, надежды Ломоносова вполне оправдались.

Напротив, предложенные впоследствии В. И. Далем (известным составителем «Толкового словаря») неуклюжие слова для замены «атмосферы» — «мироколица» или «колоземица» — совершенно не привилась, как не привился его «небозём» вместо горизонта и другие новые слова.

Как будто простая задача

Самовар, вмещающий 30 стаканов, полон воды. Вы подставляете стакан под его кран и с часами в руках следите по секундной стрелке, за какое время стакан наполняется до краев. Допустим, что за полминуты. Теперь зададим вопрос: за какое время опорожнится весь самовар, если оставить кран открытым?

Казалось бы, здесь детски-простая арифметическая задача: один стакан вытекает за полминуты, — значит, 30 стаканов выльются за 15 мин.

Но сделайте опыт. Окажется, что самовар опоражнивается не в четверть часа, как вы ожидали, а в полчаса.

В чем же дело? Ведь расчет так прост!

Прост, но неверен. Нельзя думать, что *скорость* истечения с начала до конца остается одна и та же. Когда первый стакан вытек из самовара, струя течет уже под меньшим давлением, так как уровень воды в самоваре понизился; понятно, что второй стакан наполнится за больший срок, чем за полминуту, третий вытечет еще ленивее, и т. д.

Скорость истечения всякой жидкости из отверстия в открытом сосуде находится в прямой зависимости от высоты столба жидкости, стоящего над отверстием. Гениальный Торричелли, ученик Галилея, первый указал на эту зависимость и выразил ее простой формулой:

$$v=\sqrt{2gh},$$

где v — скорость истечения, g — ускорение свободного падения, h — высота уровня жидкости над отверстием. Из этой формулы следует, что скорость вытекающей струи совершенно не зависит от *плотности* жидкости: легкий спирт и тяжелая ртуть при одинаковых уровнях вытекают из отверстия одинаково быстро (рис. 55). Из формулы видно, что на Луне, где сила тяжести в 6 раз меньше, чем на Земле, потребовалось бы для наполнения стакана примерно в 2,5 раза больше времени, нежели на Земле.

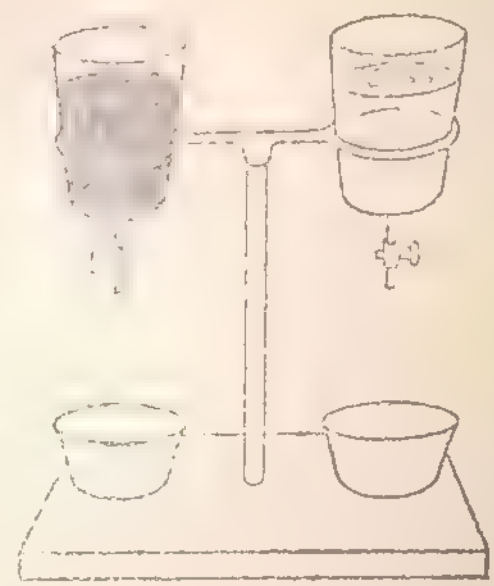


Рис. 55. Что скорее выльется: ртуть или спирт? Уровни жидкостей в сосудах одинаковы.

Но возвратимся к нашей задаче. Если после истечения из самовара 20 стаканов уровень воды в нем (считая от отверстия крана) понизился в *четыре* раза, то двадцать первый стакан наполнится *вдвое* медленнее, чем первый. И если в дальнейшем уровень воды понизится в *девять* раз, то для наполнения последних стаканов понадобится уже *втрое* больше времени, чем для наполнения первого. Все знают, как вяло вытекает вода из крана самовара, который уже почти опорожнен. Решая эту задачу приемами высшей математики, можно доказать, что время, нужное на полное опорожнение сосуда, *в два раза больше* срока, в течение которого вылился бы такой же объем жидкости при неизменном первоначальном уровне *).

От сказанного один шаг к пресловутым задачам о бассейне, без которых не обходится ни один арифметический и алгебраический задачник. Всем памятны классически-скучные, схоластические задачи вроде следующей:

«В бассейн проведены две трубы. Через одну первую пустой бассейн может наполниться за 5 часов; через одну вторую полный бассейн может опорожниться за 10 часов (рис. 56). За какое время наполнится пустой бассейн, если открыть обе трубы сразу?»

Задачи этого рода имеют почтенную давность — почти 20 веков, восходя к Герону Александрийскому. Вот одна из героновых задач, — не столь, правда, замысловатая, как ее потомки:

> Четыре фонтана дано. Обширный дан водоем.
> За сутки первый фонтан доверху его наполняет.
> Два дня и две ночи второй над тем же должен работать.
> Третий втрое, чем первый, слабей.
> В четверо суток последний за ним поспевает.
> Ответить мне, скоро ли будет он полон,
> Если во время одно все их открыть?

Две тысячи лет решаются задачи о бассейнах и — такова сила рутины! — две тысячи лет решаются *неправильно*. Почему неправильно — вы поймете сами после того, что́ сейчас сказано было о вытекании воды.

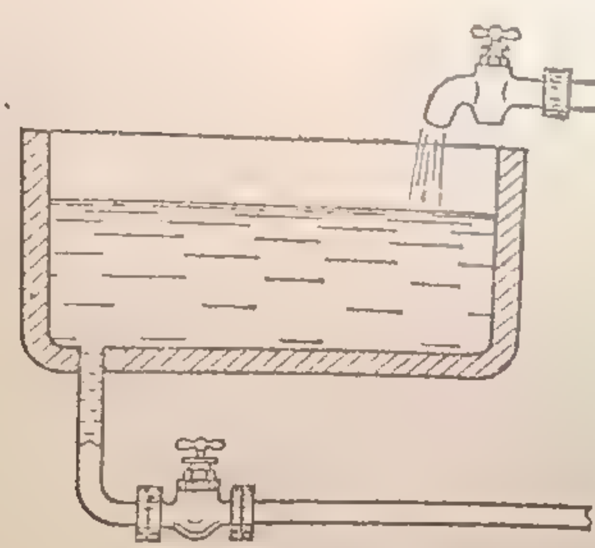


Рис. 56. Задача о бассейне.

Как учат решать задачи о бассейнах? Первую, например, задачу решают так. За 1 час первая труба наливает 1/5 бассейна, вторая выливает 1/10 бассейна; значит, при действии обеих труб в бассейн ежечасно поступает

$$1/5 - 1/10 = 1/10$$

часть бассейна, откуда для времени наполнения бассейна получается 10 часов.

Это рассуждение неверно: если втекание воды можно считать происходящим под постоянным давлением и, следовательно, равномерным, то ее *вытекание* происходит при изменяющемся уровне и, значит, *неравномерно*. Из того,

что второй трубой бассейн опоражнивается за 10 часов, вовсе не следует, что ежечасно вытекает 1/10 часть бассейна; школьный прием решения, как видим, ошибочен. Решить задачу правильно средствами элементарной математики нельзя, а потому задачам о бассейне (с *вытекающей* водой) вовсе не место в арифметических задачниках*).

Удивительный сосуд

Возможно ли устроить такой сосуд, из которого вода вытекала бы все время равномерной струей, не замедляя своего течения, несмотря на то, что уровень жидкости понижается? После того, что вы узнали из предыдущих статей, вы, вероятно, готовы счесть подобную задачу неразрешимой.

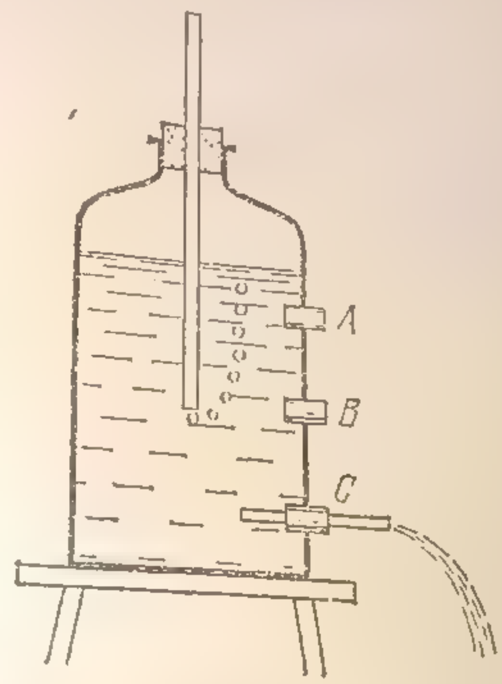


Рис. 57. Устройство сосуда Мариотта. Из отверстия C вода течет равномерно.

Между тем это вполне осуществимо. Сосуд, изображенный на рис. 57,— именно такой удивительный сосуд. Это обыкновенная бутыль с узким горлом, через пробку которой вдвинута стеклянная трубка. Если вы откроете кран C ниже конца трубки, то жидкость будет литься из него неослабевающей струей до тех пор, пока уровень воды не опустится в сосуде до нижнего конца трубки (на уровне пробки B). Вдвинув трубку почти до уровня крана C, вы можете заставить всю жидкость, находящуюся выше уровня отверстия, вытечь равномерной, хотя и очень слабой струей.

Отчего это происходит? Проследите мысленно за тем, что совершается в сосуде при открытии крана C. Прежде всего выливается вода из стеклянной трубки; уровень жидкости внутри нее опускается до конца трубки. При дальнейшем вытекании опускается уже уровень воды в сосуде и через стеклянную трубку входит наружный воздух; он просачивается пузырьками через воду и со-

*) Подробный разбор таких задач читатель может найти в моей книге «Знаете ли вы физику?».

бирается над ней в верхней части сосуда. Теперь на всем уровне пробки B давление равно атмосферному. Значит, вода из крана C вытекает лишь под давлением слоя воды BC, потому что давление атмосферы изнутри и снаружи сосуда уравновешивается. А так как толщина слоя BC остается постоянной, то и неудивительно, что струя все время течет с одинаковой скоростью.

Попробуйте же теперь ответить на вопрос: как быстро будет вытекать вода, если вынуть пробку B на уровне конца трубки?

Оказывается, что она *вовсе не будет вытекать* (разумеется, если отверстие настолько мало, что шириной его можно пренебречь; иначе вода будет вытекать под давлением тонкого слоя воды толщиной в ширину отверстия). В самом деле, здесь изнутри и снаружи давление равно атмосферному, и ничто не побуждает воду вытекать.

А если бы вы вынули пробку A *выше* нижнего конца трубки, то не только вода не вытекала бы из сосуда, но в него еще входил бы наружный воздух. Почему? По весьма простой причине: внутри этой части сосуда давление воздуха *меньше*, чем атмосферное давление снаружи.

Этот сосуд со столь необычайными свойствами был придуман знаменитым физиком Мариоттом и назван по имени ученого «сосудом Мариотта».

Поклажа из воздуха

В середине XVII века жители города Регенсбурга и съехавшиеся туда члены Регенсбургского имперского съезда во главе с императором Фердинандом III были свидетелями поразительного зрелища: 16 лошадей изо всех сил старались разнять два приложенных друг к другу медных полушария. Что связывало их? «Ничто», — воздух. И тем не менее восемь лошадей, тянувших в одну сторону, и восемь, тянувших в другую, оказались не в силах их разъединить. Так бургомистр Отто фон Герике воочию показал всем, что воздух — вовсе не «ничто», что он имеет вес и давит со значительной силой на все земные предметы.

Опыт этот был произведен 8 мая 1654 г. при весьма торжественной обстановке. Ученый бургомистр сумел всех заинтересовать своими научными изысканиями, несмотря на то, что дело происходило в разгар политических неурядиц и опустошительных войн.

Рассказ о знаменитом опыте с «магдебургскими полушариями», я уверен, читатель с интересом выслушает из уст самого Герике, этого «германского Галилея», как иногда называют замечательного физика. Объемистая книга с описанием длинного ряда его опытов вышла на латинском языке в Амстердаме в 1672 г. и, подобно всем книгам этой эпохи, носила пространное заглавие. Вот оно:

> ОТТО фон ГЕРИКЕ
>
> Так называемые новые магдебургские опыты над
>
> БЕЗВОЗДУШНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ,
>
> первоначально описанные профессором математики в Вюрцбургском университете ГАСПАРОМ ШОТТОМ
>
> Издание самого автора, более обстоятельное и пополненное различными новыми опытами

Интересующему нас опыту посвящена глава XXIII этой книги. Приводим дословный ее перевод.

«Опыт, показывающий, что давление воздуха соединяет два полушария так прочно, что их нельзя разнять усилиями 16 лошадей.

Я заказал два медных полушария диаметром в три четверти магдебургских локтя *). Но в действительности диаметр их заключал всего 67/100, так как мастера, по обыкновению, не могли изготовить в точности то, что требовалось. Оба полушария вполне отвечали одно другому. К одному полушарию был приделан кран; с помощью этого крана можно удалить воздух изнутри и препятствовать проникновению воздуха снаружи. Кроме того, к полушариям прикреплены были четыре кольца, через которые продевались канаты, привязанные к упряжи лошадей. Я велел также сшить кожаное кольцо; оно напитано было смесью воска в скипидаре; зажатое между полушариями, оно не пропускало в них воздуха. В кран вставлена была трубка воздушного насоса, и был удален воздух внутри шара. Тогда обнаружилось, с какой силой оба полушария придавливались друг к другу через кожаное кольцо. Давление наружного воздуха прижимало их так крепко, что 16 лошадей (рывком) совсем не могли их разнять или достигали этого лишь с трудом. Когда же полушария, уступая напряжению всей силы лошадей, разъединялись, то раздавался грохот, как от выстрела.

Но стоило поворотом крана открыть свободный доступ воздуху — и полушария легко было разнять руками».

---

*) «Магдебургский локоть» равен 550 см.

Несложное вычисление может объяснить нам, почему нужна такая значительная сила (восемь лошадей с каждой стороны), чтобы разъединить части пустого шара. Воздух давит с силой около 1 кгс на каждый квадратный сантиметр; площадь круга *) диаметром в 0,67 локтя (37 см) равна 1060 см². Значит, давление атмосферы на каждое полушарие должно превышать 1000 кгс=1 тс. Каждая восьмерка лошадей должна была, следовательно, тянуть с силой 1 тс, чтобы противодействовать давлению наружного воздуха.

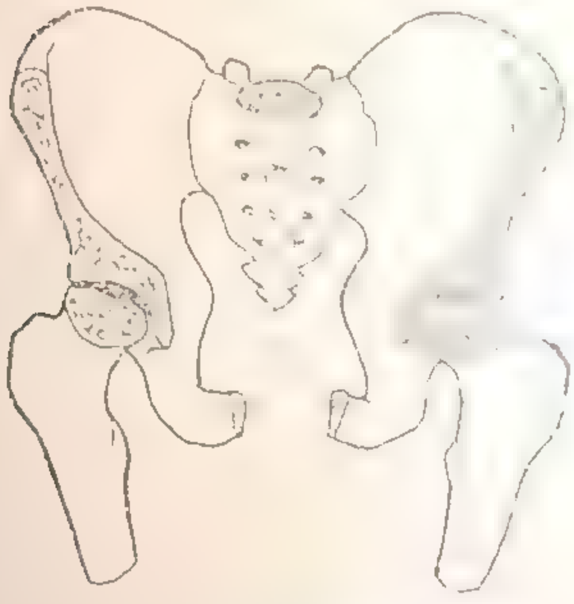


Рис. 58. Кости наших тазобедренных сочленений не распадаются подобно магдебургским полушариям.

Казалось бы, для восьми лошадей (с каждой стороны) это не очень большой груз. Не забывайте, однако, что, двигая, например, кладь весом в 1 тс, лошади преодолевают силу не в 1 тс, а гораздо меньшую, именно — силу трения колес об оси и о мостовую. А эта сила составляет (на шоссе, например) всего процентов пять, т. е. при однотонном грузе — 50 кгс. (Не говорим уже о том, что при соединении усилий восьми лошадей теряется, как показывает практика, 50% силы тяги.) Следовательно, сила тяги в 1 тс соответствует при восьми лошадях нагрузке телеги в 20 тс. Вот какова та воздушная поклажа, везти которую должны были лошади магдебургского бургомистра! Они словно должны были сдвинуть с места небольшой паровоз, не поставленный, к тому же, на рельсы.

Измерено, что сильная лошадь тянет воз с усилием всего в 80 кгс **). Следовательно, для разрыва магдебургских полушарий понадобилось бы при равномерной

---

*) Берется *площадь круга*, а не поверхность полушария, потому что атмосферное давление равно указанному значению лишь при действии на поверхность под прямым углом; для наклонных поверхностей это давление меньше. В данном случае мы берем прямоугольную *проекцию* шаровой поверхности на плоскость, т. е. площадь большого круга.

**) При скорости 4 км/ч. В среднем принимается, что сила тяги лошади составляет 15% ее веса; весит же лошадь: легкая 400 кгс, тяжелая 750 кгс. На очень короткое время (начальное усилие) сила тяги может быть в несколько раз больше.

тяге 1000 кгс/80 кгс, т. е. по 13 лошадей с каждой стороны *).

Читатель будет, вероятно, изумлен, узнав, что некоторые сочленения нашего скелета не распадаются по той же причине, что и магдебургские полушария (рис. 58). Наше тазобедренное сочленение представляет собой именно такие магдебургские полушария. Можно обнажить это сочленение от мускульных и хрящевых связей, и все-таки бедро не выпадает: его прижимает атмосферное давление, так как в межсуставном пространстве воздуха нет [10]).

Новые героновы фонтаны

Обычная форма фонтана, приписываемого древнему механику Герону Александрийскому, вероятно, известна моим читателям. Напомню здесь его устройство, прежде чем перейти к описанию видоизменений этого любопытного прибора. Геронов фонтан (рис. 59) состоит из трех сосудов: верхнего открытого (a) и двух шарообразных (b и c), герметически замкнутых. Сосуды соединены тремя трубками. Когда в сосуде a есть немного воды, шар b наполнен водой, а шар c — воздухом, фонтан начинает действовать: вода переливается по трубке из a в c, вытесняя оттуда воздух в шар b; под давлением поступающего воздуха вода из b устремляется по трубке вверх и бьет фонтаном над сосудом a. Когда же шар b опорожнится, фонтан перестает бить.

Такова старинная форма геронова фонтана. Один школьный учитель в Италии, побуждаемый к изобретательности скудной обстановкой своего физического кабинета, упростил устройство геронова фонтана и придумал такие видоизменения его, которые каждый может устроить при помощи простейших средств (рис. 60). Вместо шаров он употребил аптечные склянки; вместо стеклянных или металлических трубок взял резиновые. Верхний сосуд не надо продырявливать: можно просто ввести в него концы трубок, как показано на рис. 60 вверху слева.

В таком виде прибор гораздо удобнее к употреблению: когда вся вода из банки b перельется через сосуд a в банку c, можно просто переставить банки b и c, и фонтан вновь действует; не надо забывать, разумеется, пересадить также наконечник на другую трубку.

*) Разъяснение того, почему требуется по 13 лошадей с *каждой* стороны, читатель найд[illegible] моей «Занимательной механике».

Другое удобство видоизмененного фонтана состоит в том, что он дает возможность произвольно изменять расположение сосудов и изучать, как влияет разница уровней сосудов на высоту струи.

Если желаете во много раз увеличить высоту струи, вы можете достигнуть этого, заменив в нижних склянках описанного прибора воду ртутью, а воздух — водой (рис. 61). Действие прибора понятно: ртуть, переливаясь

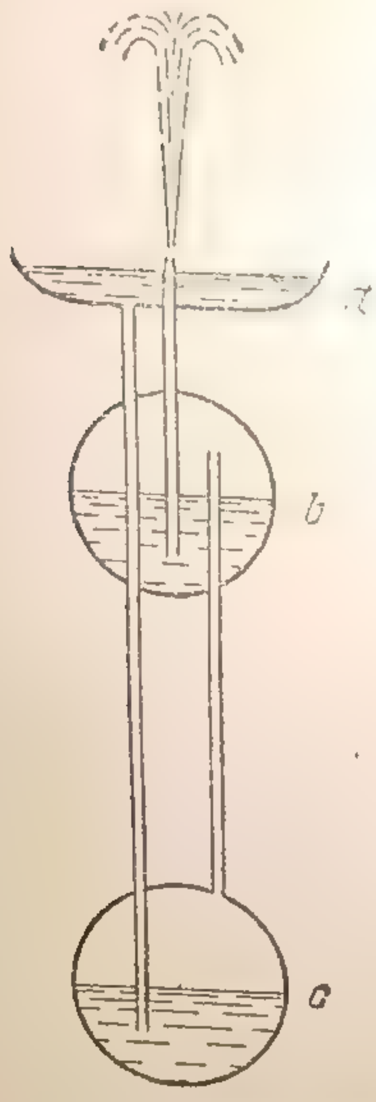


Рис. 59. Старинный геронов фонтан.

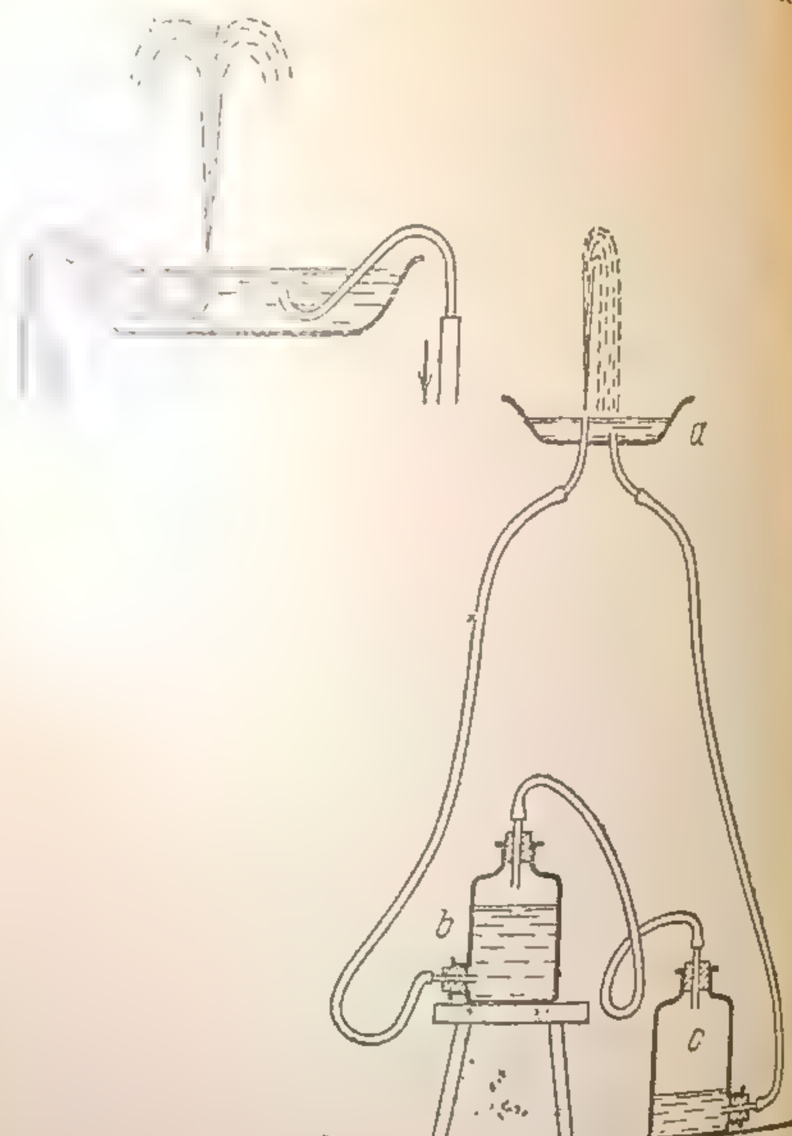


Рис. 60. Видоизменение геронова фонтана.

из банки c в банку b, вытесняет из нее воду, заставляя ее бить фонтаном.

Зная, что ртуть почти в 13,5 раза тяжелее воды, мы можем вычислить, на какую высоту должна подниматься при этом струя фонтана. Обозначим разницу уровней соответственно через h_1, h_2, h_3. Теперь разберемся, под действием какого давления ртуть из банки c перетекает в банку b. Ртуть в соединительной трубке подвержена давлению с двух сторон. Справа на нее действует давление разности h_2 ртутных столбов (которое равносильно дав-

лению в 13,5 раза более высокого водяного столба, 13,5 h_2) плюс давление водяного столба h_1. Слева напирает водяной столб h_3. В итоге ртуть увлекается силой 13,5 $h_2 + h_1 -$ $- h_3$.

Но $h_3 - h_1 = h_2$; заменив поэтому $h_1 - h_3$ на $-h_2$, получаем

$$13{,}5\,h_2 - h_2, \text{ т. е. } 12{,}5\,h_2.$$

Итак, ртуть поступает в банку b под давлением веса водяного столба высотой 12,5 h_2. Теоретически фонтан должен бить поэтому на высоту, равную разности ртутных уровней в склянках, умноженной на 12,5. Трение несколько понижает эту теоретическую высоту.

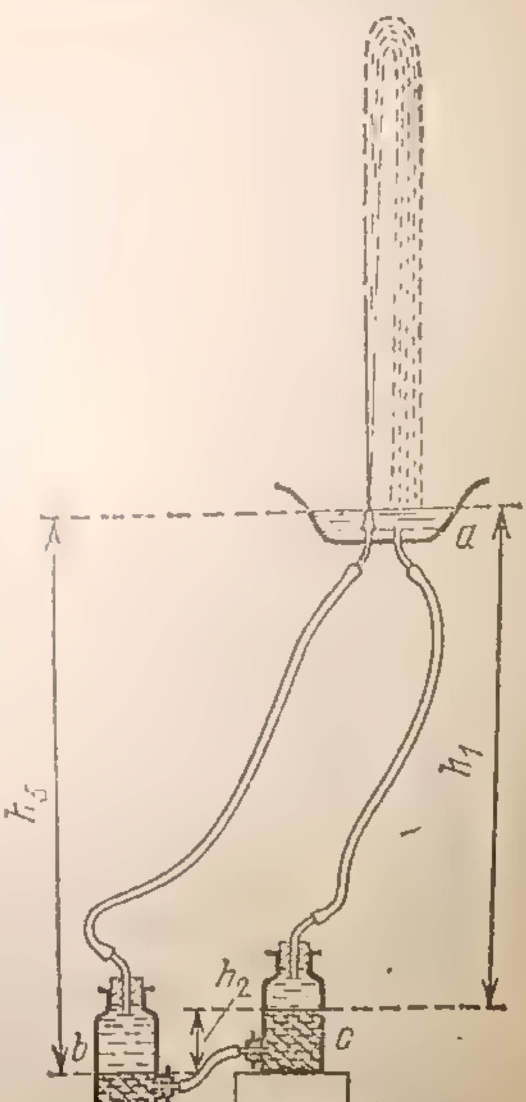


Рис. 61. Фонтан, действующий под давлением ртути. Струя бьет раз в десять выше разности уровней ртути.

Тем не менее описанный прибор дает удобную возможность получить бьющую высоко вверх струю. Чтобы заставить, например, фонтан бить на высоту 10 м, достаточно поднять одну банку над другой примерно на 1 м. Любопытно, что, как видно из нашего расчета, возвышение сосуда a над склянками с ртутью нисколько не влияет на высоту струи.

Обманчивые сосуды

В старину (в XVII—XVIII веках) вельможи забавлялись следующей поучительной игрушкой: приобретали кружку (или кувшин), в верхней части которой имелись крупные узорчатые вырезы (рис. 62). Такую кружку, налитую вином, предлагали незнатному гостю, над которым можно было безнаказанно посмеяться. Как пить из нее? Наклонить — нельзя: вино польется из множества сквозных отверстий, а до рта не достигнет ни капли. Случится, как в сказке:

> Мед, пиво пил,
> Да усы лишь обмочил.

Но кто знал секрет устройства подобных кружек,— секрет, который показан на рис. 63,— тот затыкал пальцем

отверстие *B*, брал в рот носик *A* и втягивал в себя жидкость, не наклоняя сосуда: вино поднималось через отверстие *D* по каналу внутри ручки, далее по его продолжению *C* внутри верхнего края кружки и достигало носика.



Рис. 62. Старинная кружка-головоломка конца XVIII века.

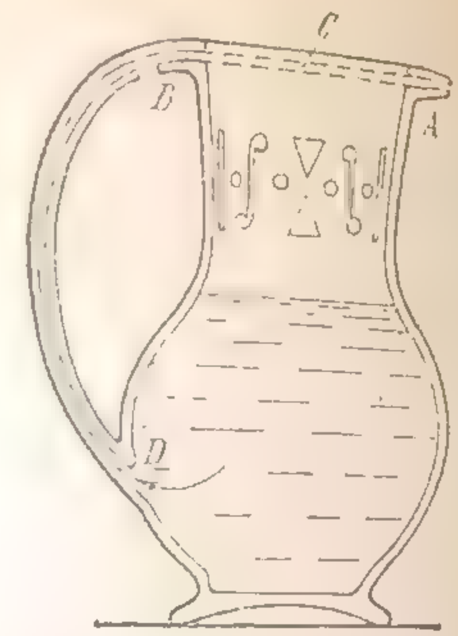


Рис. 63. Секрет устройства кувшина (см. рис. 62).

Не так давно еще подобные кружки изготовлялись нашими гончарами. Мне случилось в одном доме видеть образчик их работы, довольно искусно скрывающей секрет устройства сосуда.

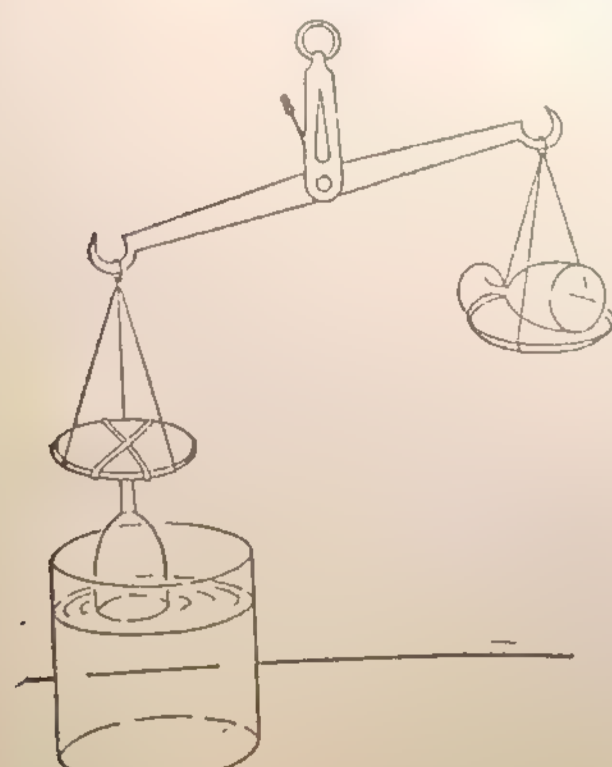


Рис. 64. Какая чашка весов перетянет?

Сколько весит вода в опрокинутом стакане?

— Ничего, конечно, не весит: в таком стакане вода не держится, выливается, — скажете вы.

— А если не выливается? — спрошу я. — Что тогда?

В самом деле, возможно ведь удержать воду в опрокинутом стакане так, чтобы она не выливалась. Этот случай изображен на рис. 64. Опрокинутый стеклянный бокал, подвязанный за донышко к одной чашке весов, наполнен водой, которая не выливается, так как края бокала погружены в сосуд с

водой. На другую чашку весов положен точно такой же пустой бокал.

Какая чашка весов перетянет?

Перетянет та, к которой привязан опрокинутый бокал с водой. Этот бокал испытывает сверху полное атмосферное давление, снизу же — атмосферное давление, ослабленное весом содержащейся в бокале воды. Для равновесия чашек необходимо было бы наполнить водой бокал, помещенный на другую чашку [11]).

При указанных условиях, следовательно, вода в опрокинутом стакане весит столько же, сколько и в поставленном на дно.

Отчего притягиваются корабли?

Осенью 1912 г. с океанским пароходом «Олимпик» (тогда одним из величайших в мире судов) произошел следующий случай. «Олимпик» плыл в открытом море, а почти параллельно ему, на расстоянии сотни метров, проходил с большой скоростью другой корабль, гораздо меньший, броненосный крейсер «Гаук». Когда оба судна заняли положение, изображенное на рис. 65, произошло нечто неожиданное: меньшее судно стремительно свернуло с пути, словно повинуясь какой-то неведомой силе, повернулось носом к большому пароходу и, не слушаясь руля, двинулось почти прямо на него. Произошло столкновение. «Гаук» врезался носом в бок «Олимпика»; удар был так силен, что «Гаук» проделал в борту «Олимпика» большую пробоину.

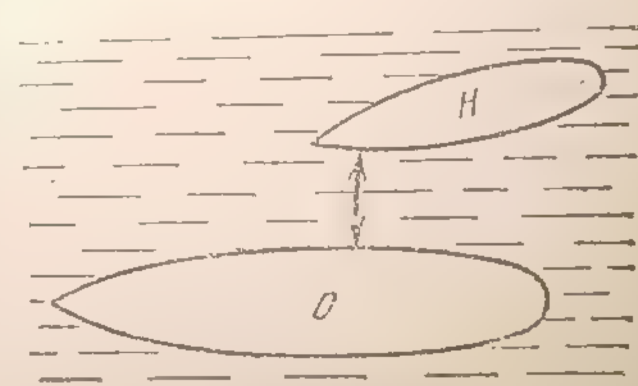


Рис. 65. Положение «Олимпика» и «Гаука» перед столкновением.

Когда этот странный случай рассматривался в морском суде, виновной стороной был признан капитан гиганта «Олимпик», так как,— гласило постановление суда,— он не отдал никаких распоряжений уступить дорогу идущему наперерез «Гауку».

Суд не усмотрел здесь, следовательно, ничего необычайного: простая нераспорядительность капитана, не больше. А между тем, имело место совершенно непредвиденное обстоятельство: случай *взаимного притяжения судов на море.*

Такие случаи не раз происходили, вероятно, и раньше при параллельном движении двух кораблей. Но пока не строили очень крупных судов, явление это не проявлялось с такой силой. Когда воды океанов стали бороздить «плавучие города», явление притяжения судов сделалось гораздо заметнее; с ним считаются командиры военных судов при маневрировании.

Многочисленные аварии мелких судов, проплывавших в соседстве с большими пассажирскими и военными судами, произошли, вероятно, по той же причине.



Рис. 66. В узких частях канала вода течет быстрее и давит на стенки слабее, чем в широких.

Чем же объясняется такое притяжение? Конечно, здесь не может быть и речи о притяжении по закону всемирного тяготения Ньютона; мы уже видели (в гл. 4), что это притяжение слишком ничтожно. Причина явления совершенно иного рода и объясняется законами течения жидкостей в трубках и каналах. Можно доказать, что если жидкость протекает по каналу, имеющему сужения и расширения, то в узких частях канала она течет быстрее и давит на стенки канала слабее, нежели в широких местах (рис. 66), где она протекает спокойнее и давит на стенки сильнее (так называемый «принцип Бернулли»).

То же справедливо и для газов. Это явление в учении о *газах* носит название эффекта Клемана — Дезорма (по имени открывших его физиков) и нередко именуется «аэростатическим парадоксом». Впервые явление это, как говорят, обнаружено было случайно при следующих обстоятельствах. В одном из французских рудников рабочему приказано было закрыть щитом отверстие наружной штольни, через которую подавался в шахту сжатый воздух. Рабочий долго боролся со струей воздуха, но внезапно щит сам собой захлопнул штольню с такой силой, что, будь щит недостаточно велик, его втянуло бы в вентиляционный люк вместе с перепуганным рабочим.

Между прочим, этой особенностью течения газов объясняется действие пульверизатора. Когда мы дуем в колено *a* (рис. 67), заканчивающееся сужением, то воздух, переходя в сужение, уменьшает свое давление. Таким образом, над трубкой *b* оказывается воздух с уменьшенным

давлением, и потому давление атмосферы гонит жидкость из сосуда вверх по трубке; у отверстия жидкость попадает в струю выдуваемого воздуха и в нем распыляется.

Теперь мы поймем, в чем кроется причина притяжения судов. Когда два парохода плывут параллельно один другому, между их бортами получается как бы водяной канал. В обыкновенном канале стенки неподвижны, а движется вода; здесь же наоборот: неподвижна вода, а движутся стенки. Но действие сил от этого нисколько не меняется: в узких местах подвижного канала вода слабее давит на стенки, нежели в пространстве вокруг пароходов. Другими словами, бока пароходов, обращенные друг к другу, испытывают со стороны воды меньшее давление, нежели наружные части судов (рис. 68). Что же должно произойти вследствие этого? Суда должны под напором наружной воды двинуться друг к другу, и естественно, что меньшее судно перемещается заметнее, между тем как более массивное остается почти неподвижным. Вот почему притяжение проявляется с особой силой, когда большой корабль быстро проходит мимо маленького.

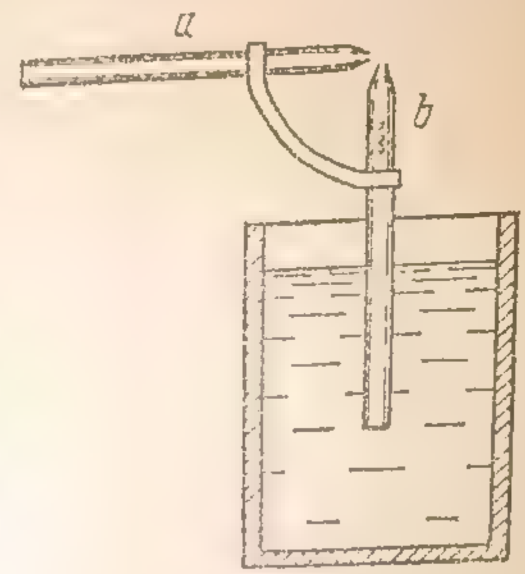


Рис. 67. Пульверизатор.

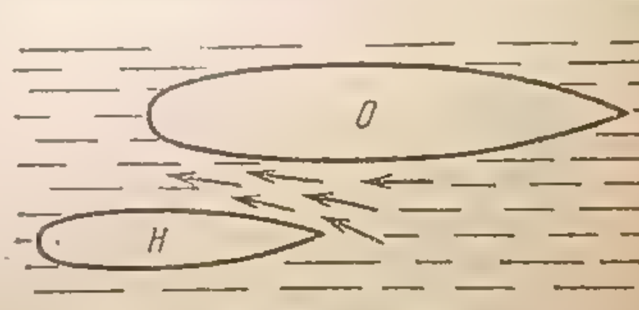


Рис. 68. Течение воды между двумя плывущими судами.

Итак, притяжение кораблей обусловлено всасывающим действием текущей воды. Этим же объясняется и опасность быстрин для купающихся, всасывающее действие водоворотов. Можно вычислить, что течение воды в реке при умеренной скорости 1 м/с втягивает человеческое тело с силой 30 кгс! Против такой силы не легко устоять, особенно в воде, когда собственный вес нашего тела не помогает нам сохранять устойчивость. Наконец, втягивающее действие быстро несущегося поезда объясняется тем же принципом Бернулли: поезд при скорости 50 км/ч увлекает близстоящего человека с силой около 8 кгс.

Явления, связанные с принципом Бернулли, хотя и весьма нередки, мало известны в кругу неспециалистов.

Полезно будет поэтому остановиться на нем подробнее. Далее мы приводим отрывок из статьи на эту тему, помещенной в одном научно-популярном журнале.

Принцип Бернулли и его следствия

Принцип, впервые высказанный Даниилом Бернулли в 1726 г., гласит: в струе воды или воздуха давление велико, если скорость мала, и давление мало, если скорость велика. Существуют известные ограничения этого принципа, но здесь мы не будем на них останавливаться. Рис. 69 иллюстрирует этот принцип.

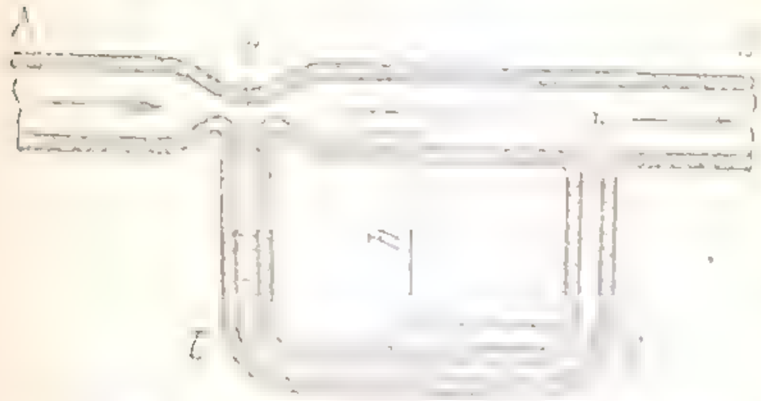


Рис. 69. [illegible] принципа Бернулли. В узкой части (a) трубки AB [illegible]

Воздух продувается через трубку AB. Если сечение трубки мало, как в a, скорость воздуха велика; если же сечение велико, как в b, скорость воздуха мала. Там, где скорость велика, давление мало, а где скорость мала, давление велико. Вследствие малого давления воздуха в a жидкость в трубке C поднимается; в то же время сильное давление воздуха в b заставляет опускаться жидкость в трубке D.

На рис. 70 трубка T укреплена на медном диске DD; воздух продувается через трубку T и далее мимо свободного диска dd *). Воздух между двумя дисками имеет большую скорость, но эта скорость быстро убывает по мере приближения к краям дисков, так как сечение воздушного потока быстро возрастает и преодолевается инерция воздуха, вытекающего из пространства между дисками. Но давление окружающего диск воздуха велико, так как скорость мала, а давление воздуха между дисками мало,

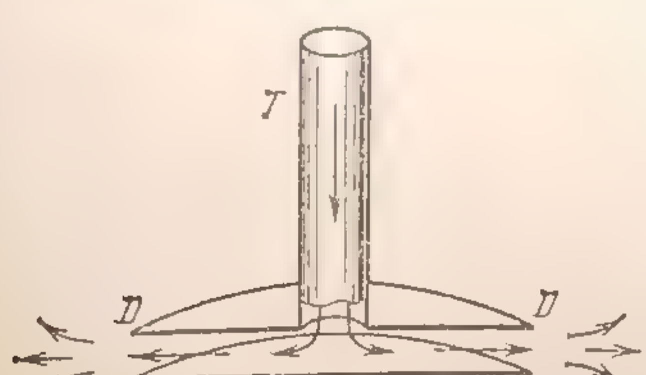


Рис. 70. Опыт с дисками.

*) Тот же опыт можно проделать проще, воспользовавшись катушкой и бумажным кружком. Чтобы кружок не соскальзывал в сторону, его пробивают булавкой, воткнутой в стенку канала катушки.

так как скорость велика. Поэтому воздух, окружающий диск, оказывает большее воздействие на диски, стремясь их сблизить, нежели воздушный поток между дисками, стремящийся их раздвинуть; в результате диск dd присасывается к диску DD тем сильнее, чем сильнее ток воздуха в трубке T [12]).

На рис. 71 показана гидродинамическая аналогия опыта, изображенного на рис. 70. Быстро движущаяся вода на диске DD находится на низком уровне и сама подни-

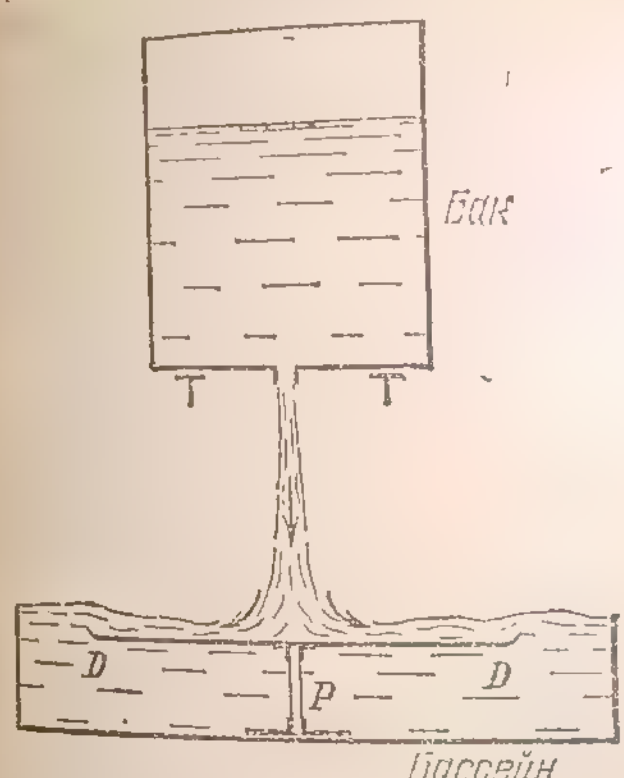


Рис. 71. Диск DD приподнимается на стержне P, когда на него выливается струя воды из бака.

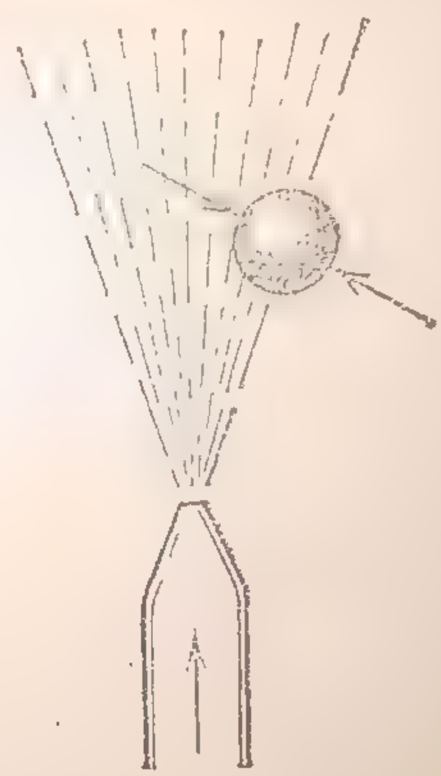


Рис. 72. Шарик, поддерживаемый струей воздуха.

мается до более высокого уровня спокойной воды в бассейне, когда огибает края диска. Поэтому спокойная вода под диском имеет более высокое давление, чем движущаяся вода над диском, вследствие чего диск поднимается. Стержень P не допускает боковых смещений диска.

Рис. 72 изображает легкий шарик, плавающий в струе воздуха. Воздушная струя ударяется о шарик и не дает ему падать. Когда шарик выскакивает из струи, окружающий воздух возвращает его обратно в струю, так как давление окружающего воздуха, имеющего малую скорость, велико, а давление воздуха в струе, имеющего большую скорость, мало.

Рис. 73 представляет два судна, движущиеся рядом в спокойной воде, или, что сводится к тому же, два судна, стоящие рядом и обтекаемые водой. Поток более стеснен в пространстве между судами, и скорость воды в этом

пространстве больше, чем по обе стороны судов. Поэтому давление воды между судами меньше, чем по обе стороны судов; более высокое давление воды, окружающей суда,

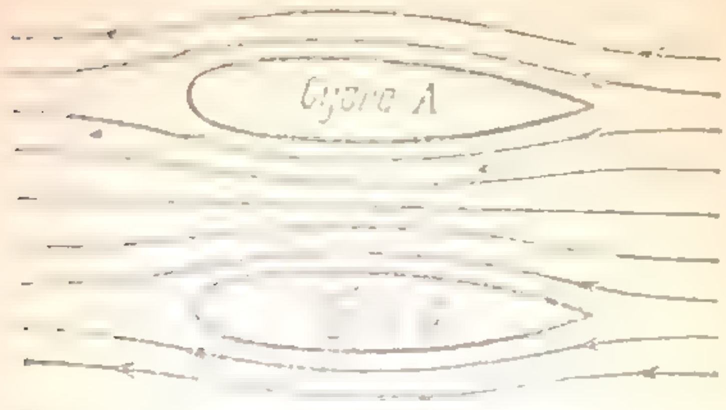


Рис. 73. Два судна, движущиеся [illegible]

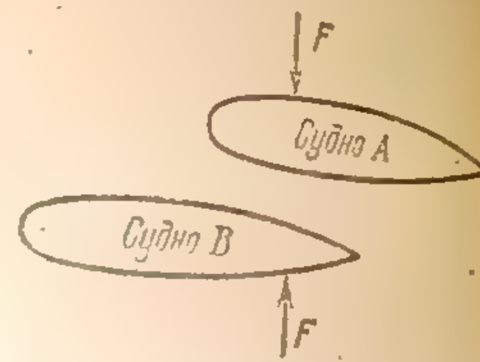


Рис. 74. При движении судов вперед судно B поворачивается носом к судну A.

сбли[illegible] [illegible] очень хорошо знают, что два корабля [illegible]льно притягиваются друг к другу.

Более серьезный случай может [illegible]ть место, когда один корабль [illegible]т за другим, как представлено на рис. 74. Две силы F и F, которые сближают корабли, стремятся повернуть их, причем судно B поворачивается к A со значительной силой. Столкновение в таком случае почти неизбежно, так как руль не успевает изменить направление движения корабля.

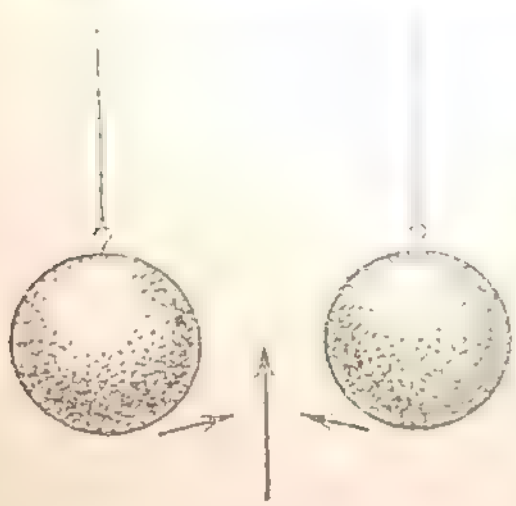


Рис. 75. Если между двумя легкими шариками продувать воздух, они сближаются до соприкосновения.

Явление, описанное в связи с рис. 73, можно демонстрировать, продувая воздух между двумя легкими резиновыми шариками, подвешенными, как указано на рис. 75. Если между ними продувать воздух, они сближаются и ударяются друг о друга.

Назначение рыбьего пузыря

О том, какую роль выполняет плавательный пузырь рыб, обыкновенно говорят и пишут — казалось бы, вполне правдоподобно — следующее. Для того чтобы всплыть из глубины в поверхностные слои воды, рыба раздувает свой плавательный пузырь; тогда объем ее тела увеличивается, вес вытесняемой воды становится больше ее соб-

ственного веса — и, по закону плавания, рыба поднимается вверх. Чтобы прекратить подъем или опуститься вниз, она, напротив, сжимает свой плавательный пузырь. Объем тела, а с ним и вес вытесняемой воды уменьшаются, и рыба опускается на дно согласно закону Архимеда.

Такое упрощенное представление о назначении плавательного пузыря рыб восходит ко временам ученых Флорентийской академии (XVII век) и было высказано профессором Борелли в 1685 г. В течение более чем 200 лет оно принималось без возражений, успело укорениться, и только трудами исследователей Моро и Шарбонеля была обнаружена полная несостоятельность этой теории.

Пузырь имеет, несомненно, весьма тесную связь с плаванием рыб, так как рыбы, у которых пузырь был при опытах искусственно удален, могли держаться в воде, только усиленно работая плавниками, а при прекращении этой работы падали на дно. Какова же истинная его роль? Весьма ограниченная: он лишь помогает рыбе оставаться на определенной глубине,— именно на той, где вес вытесняемой рыбой воды равен весу самой рыбы. Когда же рыба работой плавников опускается *ниже* этого уровня, тело ее, испытывая большое наружное давление со стороны воды, сжимается, сдавливая пузырь; вес вытесняемого объема воды уменьшается, становится меньше веса рыбы, и рыба неудержимо падает вниз. Чем ниже она опускается, тем сильнее становится давление воды (на 1 атм при опускании на каждые 10 м), тем больше сдавливается тело рыбы и тем стремительнее продолжает оно опускаться.

То же самое, только в обратном направлении, происходит тогда, когда рыба, покинув слой, где она находилась в равновесии, перемещается работой плавников в более высокие слои. Тело ее, освободившись от части наружного давления и по-прежнему распираемое изнутри плавательным пузырем (в котором давление газа находилось до этого момента в равновесии с давлением окружающей воды), увеличивается в объеме и вследствие этого всплывает выше. Чем выше рыба поднимается, тем более раздувается ее тело и тем, следовательно, стремительнее ее дальнейший подъем. Помешать этому, «сжимая пузырь», рыба не в состоянии, так как стенки ее плавательного пузыря лишены мышечных волокон, которые могли бы активно изменять его объем.

Что такое *пассивное* расширение объема тела действительно совершается у рыб, подтверждается следую-

щим опытом (рис. 76). Рыбка в захлороформированном состоянии помещается в закрытый сосуд с водой, в котором поддерживается усиленное давление, близкое к тому, какое господствует на определенной глубине в естественном водоеме. На поверхности воды рыбка лежит бездеятельно, вверх брюшком. Погруженная немного глубже, она вновь всплывает на поверхность. Помещенная ближе ко дну, она опускается на дно. Но в промежутке между обоими уровнями существует слой воды, в котором рыбка остается в равновесии — не тонет и не всплывает. Все это становится понятным, если вспомним сказанное сейчас о пассивном расширении и сжатии плавательного пузыря.

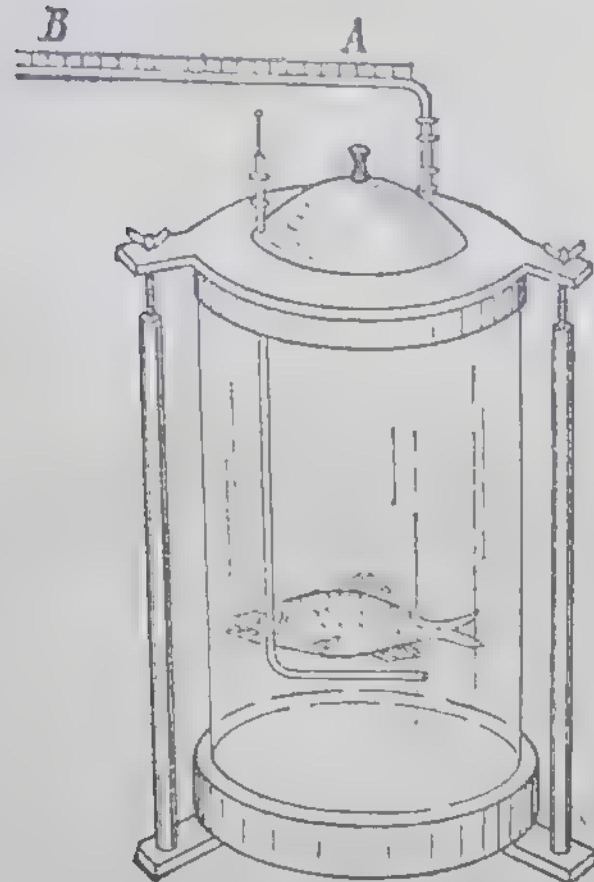


Рис. 76. Опыт с рыбкой.

Итак, вопреки распространенному мнению, рыба вовсе не может произвольно раздувать и сжимать свой плавательный пузырь. Изменения его объема происходят пассивно, под действием усиленного или ослабленного наружного давления (согласно закону Бойля — Мариотта). Эти изменения объема для рыбы не только не полезны, а, напротив, приносят ей вред, так как обусловливают либо неудержимое, все ускоряющееся падение на дно, либо столь же неудержимый и ускоряющийся подъем на поверхность. Другими словами, пузырь помогает рыбе в неподвижном положении сохранять равновесие, но равновесие это *неустойчивое*.

Такова истинная роль плавательного пузыря рыб, — поскольку речь идет о его отношении к плаванию; выполняет ли он также и другие функции в организме рыбы и какие именно, — неизвестно, так что орган этот все же является пока загадочным. И только его гидростатическую роль можно считать в настоящее время вполне выясненной.

Наблюдения рыболовов подтверждают сказанное. При ловле рыб из большой глубины случается, что иная рыба на половине пути высвобождается; но, вопреки ожиданию, она не опускается вновь в глубину, из которой была извлечена, а, напротив, стремительно поднимается на поверхность. У таких-то рыб и замечают иногда, что пузырь выпячивается через рот.

Волны и вихри

Многие из повседневных физических явлений не могут быть объяснены на основе элементарных законов физики. Даже такое часто наблюдаемое явление, как волнение моря в ветреный день, не поддается исчерпывающему объяснению в рамках школьного курса физики. А чем

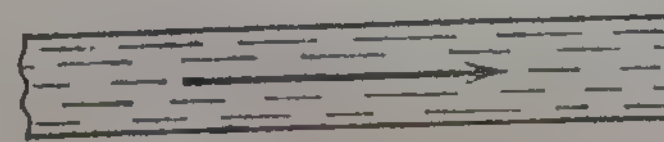


Рис. 77. Спокойное (ламинарное) течение жидкости в трубе.

обусловлены волны, разбегающиеся в спокойной воде от носа идущего парохода? Почему волнуются флаги в ветреную погоду? Почему песок на берегу моря располагается волнообразно? Почему клубится дым, выходящий из заводской трубы?

Чтобы объяснить эти и другие подобные им явления [13], надо знать особенности так называемого *вихревого* движения жидкостей и газов. Постараемся рассказать здесь



Рис. 78. Вихревое (турбулентное) течение жидкости в трубе.

немного о вихревых явлениях и отметить их главные особенности.

Представим себе жидкость, текущую в трубе. Если все частицы жидкости движутся при этом вдоль трубы по параллельным линиям, то перед нами простейший вид движения жидкости — спокойный или, как физики говорят, *ламинарный* поток (рис. 77). Однако это вовсе не самый частый случай. Напротив, гораздо чаще жидкости текут в трубах неспокойно; от стенок трубы идут к ее оси вихри. Это — вихреобразное или *турбулентное* движение (рис. 78). Так течет, например, вода в трубах водопроводной сети (если не иметь в виду тонкие трубы, где течение ламинарное). Вихревое течение наблюдается всякий раз, когда скорость течения данной жидкости в трубе (данного диаметра) достигает определенной величины, так называемой *критической* скорости *).

*) Критическая скорость для какой-нибудь жидкости прямо пропорциональна вязкости жидкости и обратно пропорциональна ее плотности и диаметру трубы, по которой жидкость течет. (Подробности в книге: *Кирпичев В. Л.* Беседы по механике.— 3-е изд.— М.; Л.: Гостехиздат, 1933, беседа седьмая.)

Вихри текущей в трубе жидкости можно сделать заметными для глаз, если в прозрачную жидкость, текущую в стеклянной трубке, ввести немного легкого порошка, например ликоподия. Тогда ясно различаются вихри, идущие от стенок трубки к ее оси.

Эта особенность вихревого течения используется в технике при устройстве холодильников и охладителей. Жидкость, текущая турбулентно в трубке с охлаждаемыми стенками, гораздо быстрее приводит все свои частицы в соприкосновение с холодными стенками, нежели при движении без вихрей; надо помнить, что сами по себе жид-

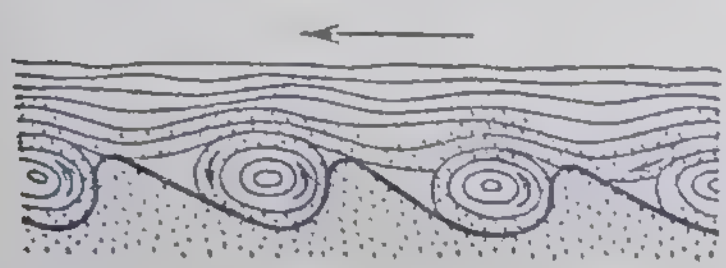


Рис. 79. Образование песчаных волн на морском берегу под действием водных вихрей.

кости — плохие проводники теплоты и при отсутствии перемешивания охлаждаются или прогреваются очень медленно. Оживленный тепловой и вещественный обмен крови с омываемыми ею тканями также возможен лишь потому, что ее течение в кровеносных сосудах не ламинарное, а вихревое [14]).

Сказанное о трубах относится в равной мере и к открытым каналам и руслам рек: в каналах и реках вода течет турбулентно. При точном измерении скорости течения реки инструмент обнаруживает пульсации, особенно близ дна: пульсации указывают на постоянно меняющееся направление течения, т. е. на вихри. Частицы речной воды движутся не только вдоль речного русла, как обычно представляют себе, но также и от берегов к середине. Оттого и неправильно утверждение, будто в глубине реки вода имеет круглый год одну и ту же температуру, именно +4 °С: вследствие перемешивания температура текущей воды близ дна реки (но не озера) такая же, как и на поверхности *).

Вихри, образующиеся у дна реки, увлекают с собой легкий песок и порождают здесь песчаные волны. То же можно видеть и на песчаном берегу моря, омываемом набегающей волной (рис. 79). Если бы течение воды близ дна было спокойное, песок на дне имел бы ровную поверхность.

*) См. мою книгу «Знаете ли вы физику?».

Итак, близ поверхности тела, омываемого водой, образуются вихри. Об их существовании говорит нам, например, змеевидно извивающаяся веревка, протянутая вдоль по течению воды (когда один конец веревки привязан, а другой свободен). Что тут происходит? Участок веревки, близ которого образовался вихрь, увлекается им; но в следующий момент этот участок движется уже другим



Рис. 80. Волнообразное движение веревки в текучей воде обусловлено образованием вихрей.

вихрем в противоположную сторону — получается змеевидное извивание (рис. 80). Легко понять теперь, почему волнуется флаг при ветре (рис. 81): с ним происходит то же, что и с веревкой в текучей воде.

От жидкостей перейдем к газам, от воды — к воздуху. Кто не видел, как воздушные вихри увлекают с земли пыль, солому и т. п.? Это — проявление вихревого течения воздуха вдоль поверхности земли. А когда воздух течет вдоль водной поверхности, то в местах образования вихрей, вследствие понижения здесь воздушного давления, вода возвышается горбом — порождается волнение. Та же причина порождает песчаные волны в пустыне и на склонах дюн (рис. 82).

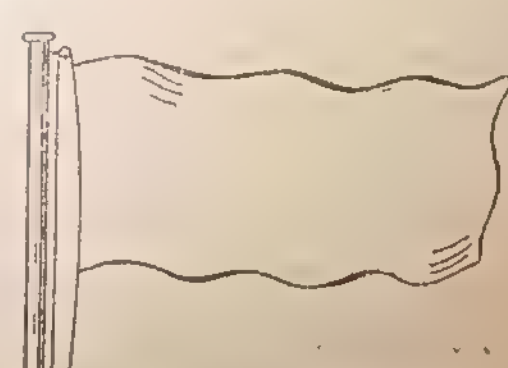


Рис. 81. Реющий флаг на ветру.

Волнение зрелой нивы того же происхождения. Твердая пластинка флюгера не сохраняет при ветре постоянного направления, а, повинуясь вихрям, все время колеблется. Такого же вихревого происхождения и клубы дыма, выходящего из заводской трубы: топочные газы протекают через трубу вихревым движением, которое продолжается некоторое время по инерции за пределами трубы (рис. 83).

Велико значение турбулентного движения воздуха для авиации. Крыльям самолета придается такая форма, при которой место разрежения воздуха под крылом заполняется веществом крыла, а вихревое действие над крылом, напротив, усиливается. В итоге крыло снизу подпирается, а сверху присасывается (рис. 84). Сход-

ные явления имеют место и при парении птицы с распростертыми крыльями.

Как действует ветер, обдувающий крышу? Вихри создают над крышей разрежение воздуха; стремясь выровнять давление, воздух из-под крыши, увлекаясь вверх,



Рис. 82. Волнообразная поверхность песка в пустыне.



Рис. 83. Клубы дыма, выходящего из заводской трубы.

напирает на нее. В результате происходит то, что, к сожалению, приходится нередко наблюдать: легкая, непрочно прикрепленная крыша уносится ветром. Большие

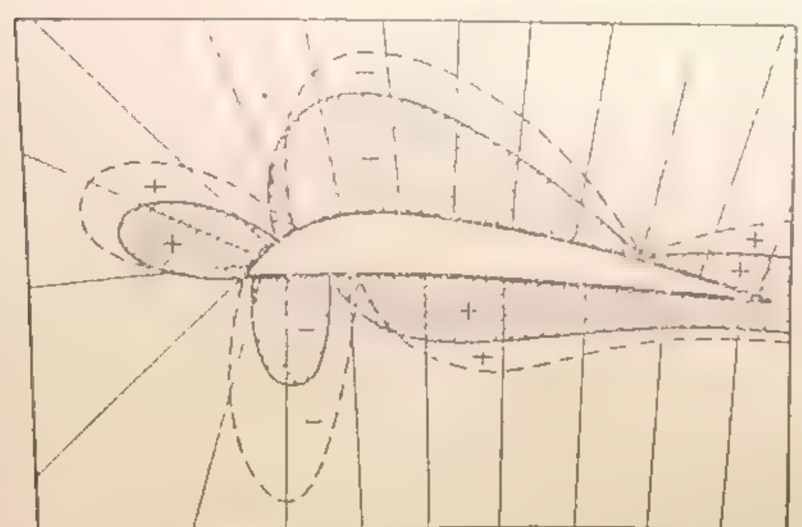


Рис. 84. Каким силам подвержено крыло самолета. Распределение давлений (+) и разрежений (—) воздуха по крылу на основании опытов. В итоге всех приложенных усилий, подпирающих и засасывающих, крыло увлекается вверх. (Сплошные линии показывают распределение давлений; штриховые — то же при резком увеличении скорости полета.)

оконные стекла по той же причине при ветре выдавливаются изнутри (а не разламываются напором снаружи). Однако эти явления проще объясняются уменьшением давления в движущемся воздухе (см. выше статью «Принцип Бернулли и его следствия»).

Когда два потока воздуха разной температуры и влажности текут один вдоль другого, в каждом возникают вих-

ри. Разнообразные формы облаков в значительной мере обусловлены этой причиной.

Мы видим, какой обширный круг явлений связан с вихревыми течениями.

Путешествие в недра Земли

Ни один человек не опускался еще в Землю глубже нескольких километров, а между тем радиус земного шара равен 6400 км. До центра Земли остается еще очень длинный путь. Тем не менее изобретательный Жюль Верн спустил глубоко в недра Земли своих героев — чудака-ученого Лиденброка и его племянника Акселя. В романе «Путешествие к центру Земли» он описал удивительные приключения этих подземных путешественников. В числе неожиданностей, встреченных ими под Землей, было, между прочим, и увеличение плотности воздуха. По мере поднятия вверх воздух разрежается очень быстро; его плотность уменьшается в геометрической прогрессии, в то время как высота поднятия растет в прогрессии арифметической. Напротив, при опускании вниз, ниже уровня океана, воздух под давлением вышележащих слоев должен становиться все плотнее. Подземные путешественники, конечно, не могли не заметить этого.

Вот какой разговор происходил между дядей-ученым и его племянником на глубине 12 льё (48 км) в недрах Земли.

«— Посмотри, что показывает манометр? — спросил дядя.

— Очень сильное давление.

— Теперь ты видишь, что, спускаясь помаленьку, мы постепенно привыкаем к сгущенному воздуху и нисколько не страдаем от этого.

— Если не считать боли в ушах.

— Пустяки!

— Хорошо, — отвечал я, решив не противоречить дяде. — Находиться в сгущенном воздухе даже приятно. Вы заметили, как громко раздаются в нем звуки?

— Конечно. В этой атмосфере даже глухой мог бы слышать.

— Но воздух будет становиться все плотнее. Не приобретет ли он в конце концов плотности воды?

— Конечно: под давлением в 770 атмосфер.

— А еще ниже?

— Плотность увеличится еще больше.

— Как же мы станем тогда спускаться?

— Набьем карманы камнями.

— Ну, дядя, у вас на все есть ответ!

Я не стал более вдаваться в область догадок, потому что, пожалуй, опять придумал бы какое-нибудь препятствие, которое рас-

сердило бы дядю. Было, однако, очевидно, что под давлением в несколько тысяч атмосфер воздух может перейти в твердое состояние, а тогда, допуская даже, что мы могли вынести такое давление, придется все же остановиться. Тут уже никакие споры не помогут.

Фантазия и математика

Так повествует романист; но не то окажется, если мы проверим факты, о которых говорится в этом отрывке. Нам не придется спускаться для этого в недра Земли; для маленькой экскурсии в область физики вполне достаточно запастись карандашом и бумагой.

Прежде всего попытаемся определить, на какую глубину нужно опуститься, чтобы давление атмосферы возросло на 1000-ю долю. Нормальное давление атмосферы равно давлению 760-миллиметрового столба ртути. Если бы мы были погружены не в воздух, а в ртуть, нам надо было бы опуститься всего на 760/1000=0,76 мм, чтобы давление увеличилось на 1000-ю долю. В воздухе же, конечно, мы должны опуститься для этого гораздо глубже, и именно во столько раз, во сколько раз воздух легче ртути — в 10 500 раз. Значит, чтобы давление увеличилось на 1000-ю долю нормального, нам придется опуститься не на 0,76 мм, как в ртути, а на 0,76·10 500 мм, т. е. почти на 8 м. Когда же мы опустимся еще на 8 м, то увеличенное давление возрастет еще на 1000-ю долю, и т. д. *). На каком бы уровне мы ни находились — у самого «потолка мира» (22 км), на вершине горы Эверест (9 км) или близ поверхности океана,— нам нужно опуститься на 8 м, чтобы давление атмосферы возросло на 1000-ю долю первоначальной величины. Получается, следовательно, такая таблица возрастания давления воздуха с глубиной:

На	уровне	Земли	давление	нормальное	(760 мм рт. ст.)
»	глубине	8 м	»	1,001	нормального
»	»	2·8 »	»	$(1,001)^2$	»
»	»	3·8 »	»	$(1,001)^3$	»
»	»	4·8 »	»	$(1,001)^4$	»

И вообще на глубине $n \cdot 8$ м давление атмосферы больше нормального в $(1,001)^n$ раз; и пока давление

---

*) Следующий 8-метровый слой воздуха плотнее предыдущего, а потому прибавка давления будет по абсолютной величине больше, чем в предшествовавшем слое. Но она и должна быть больше, потому что здесь берется 1000-я доля от более крупной величины.

...во столько же раз увеличится и плотность воздуха (закон Бойля — Мариотта) [15]. Заметим, что в данном случае речь идет, как видно, об углублении в Землю всего на 48 км, а потому ослабление силы тяжести и связанное с ним уменьшение веса воздуха можно не принимать в расчет.

Теперь можно рассчитать, как велико было то давление, которое подземные путешественники Жюля Верна испытывали на глубине 48 км (48 000 м). В нашей формуле n равняется 48 000 : 8 = 6000. Приходится вычислять $(1,001)^{6000}$. Так как умножать 1,001 само на себя 6000 раз — занятие довольно скучное и отняло бы много времени, то мы обратимся к помощи логарифмов, о которых справедливо сказал Лаплас, что они, сокращая труд, удваивают жизнь вычислителей *). Логарифмируя, находим логарифм неизвестного x:

$$\lg x = 6000 \cdot \lg 1,001 = 6000 \cdot 0,00043 = 2,6.$$

По логарифму 2,6 находим искомое число x; оно равно 400.

Итак, на глубине 48 км давление атмосферы в 400 раз больше нормального; плотность воздуха при таком давлении возрастает, как показали опыты, в 315 раз. Сомнительно поэтому, чтобы наши подземные путники нисколько не страдали, испытывая только «боль в ушах»... В романе Жюля Верна говорится, однако, о достижении людьми еще бо́льших подземных глубин, именно 120 и даже 325 км. Давление воздуха должно было достигать там чудовищных степеней; человек же способен переносить безвредно для себя воздушное давление не свыше 3 атм.

Если бы по той же формуле мы стали вычислять, на какой глубине воздух становится так же плотен, как в

---

*) Кто вынес из школы неприязненное чувство к логарифмическим таблицам, тот, быть может, изменит свое недружелюбное к ним отношение, познакомившись с характеристикой, данной им великим французским астрономом. Вот это место в «Изложении системы мира»: «Изобретение логарифмов, сокращая вычисления нескольких месяцев в труд нескольких дней, как бы удваивает жизнь астрономов и освобождает их от погрешностей и утомления, неразлучных с длинными вычислениями. Это изобретение тем лестнее для ума человеческого, что всецело почерпнуто из этого источника. В технике человек для увеличения своего могущества пользуется материалами и силами окружающей природы; в логарифмах же все является результатом его собственного ума».

вода, т. е. уплотняется в 770 раз, то получили бы цифру 53 км. Но этот результат неверен, так как при высоких давлениях плотность газа уже не пропорциональна давлению. Закон Бойля — Мариотта вполне верен лишь для не слишком значительных давлений, не превышающих сотни атмосфер. Вот данные о плотности воздуха, полученные на опыте[16]:

Давление, атм	200	400	600	1500	1800	2100
Плотность, отн. ед.	190	315	387	513	540	564

Увеличение плотности, как видим, заметно отстает от возрастания давления. Напрасно жюль-верновский ученый ожидал, что он достигнет глубины, где воздух плотнее воды, — этого ему не пришлось бы дождаться, так как воздух достигает плотности воды лишь под давлением 3000 атм., а дальше уже почти не сжимается. О том же, чтобы превратить воздух в твердое состояние одним давлением, без сильнейшего охлаждения (ниже −146° С), не может быть и речи.

Справедливость требует отметить, однако, что упомянутый роман Жюля Верна был опубликован задолго до того, как стали известны приведенные сейчас факты. Это оправдывает автора, хотя и не исправляет повествования.

Воспользуемся еще приведенной выше формулой, чтобы вычислить наибольшую глубину шахты, на дне которой человек может оставаться без вреда для своего здоровья. Наибольшее воздушное давление, какое еще способен переносить наш организм, — 3 атм. Обозначая искомую глубину шахты через x, имеем уравнение $(1{,}001)^{x/8}=3$, откуда (логарифмируя) вычисляем x. Получаем $x=8{,}9$ км.

Итак, человек мог бы без вреда находиться на глубине почти 9 км. Если бы Тихий океан вдруг высох, люди могли бы почти повсюду жить на его дне.

В глубокой шахте

Кто ближе всего продвинулся к центру Земли — не в фантазии романиста, а в реальной действительности? Конечно, горнорабочие. Мы уже знаем (см. гл. 4), что одна из глубочайших шахт мира была прорыта в Южной Африке. Она уходит в глубь более чем на 3 км. Здесь имеется в виду не глубина проникновения бурильного

долота, а углубление самих людей. Вот что рассказывает, например, о шахте на руднике Морро Вельхо (глубина около 2300 м) французский писатель Люк Дюртен, лично посетивший ее:

«Знаменитые золотые прииски Морро Вельхо находятся в 400 км от Рио-де-Жанейро. После 16 часов езды по железной дороге в скалистой местности вы спускаетесь в глубокую долину, окруженную джунглями. Здесь английская компания разрабатывает золотоносные жилы на такой глубине, на какую никогда раньше не спускался человек.

Жила идет в глубь косо. Шахта следует за ней шестью уступами. Вертикальные шахты — колодцы, горизонтальные — туннели. Чрезвычайно характерно для современного общества, что глубочайшая шахта, прорытая в коре земного шара,— самая смелая попытка человека проникнуть в недра планеты — сделана в поисках золота.

Наденьте парусиновую прозодежду и кожаную куртку. Осторожнее: малейший камешек, падающий в колодец, может ранить вас. Вас будет сопровождать один из «капитанов» шахты. Вы входите в первый туннель, хорошо освещенный. Вас охватывает дрожь от леденящего ветра в 4 °С: это — вентиляция для охлаждения глубин шахты.

Проехав в узкой металлической клетке первый колодец глубиной 700 м, вы попадаете во второй туннель. Спускаетесь во второй колодец; воздух становится теплее. Вы уже находитесь ниже уровня моря.

Начиная со следующего колодца, воздух обжигает лицо. Обливаясь потом, согнувшись под низким сводом, вы подвигаетесь по направлению к реву сверлильных машин. В густой пыли работают обнаженные люди; с них струится пот, руки безостановочно передают бутыль с водой. Не дотрагивайтесь до обломков руды, сейчас отколотых: температура их 57 °С.

Каков же итог этой ужасной, отвратительной действительности? — Около 10 килограммов золота в день...» *).

Описывая условия на дне шахты и степень крайней эксплуатации рабочих, французский писатель отмечает высокую температуру, но не упоминает о повышенном давлении воздуха. Вычислим, каково оно на глубине 2300 м. Если бы температура оставалась такая же, как на поверхности Земли, то, согласно знакомой уже нам формуле, плотность воздуха возросла бы в

$$(1{,}001)^{2300/8} = 1{,}33 \text{ раза.}$$

В действительности температура не остается неизменной, а повышается. Поэтому плотность воздуха растет не столь значительно, а меньше. В конечном итоге воздух на дне шахты по плотности отличается от возду-

*) См. журнал: За рубежом, 1933, № 13.

ха на поверхности Земли немногим больше, чем воздух знойного летнего дня от морозного зимнего. Понятно теперь, почему это обстоятельство не привлекло к себе внимания посетителя шахты.

Зато большое значение имеет значительная влажность воздуха в таких глубоких рудниках, делающая пребывание в них невыносимым при высокой температуре. В одном из южноафриканских рудников (Иоганнесбург), глубиной 2553 м, влажность при 50 °С жары достигала 100%; здесь устраивался так называемый «искусственный климат», причем охлаждающее действие установки равнялось 2000 тоннам льда.

Вместе со стратостатами

В предыдущих статьях мы мысленно путешествовали в земные недра, и нам помогла формула зависимости давления воздуха от глубины. Отважимся теперь подняться вверх и, пользуясь той же формулой, посмотрим, как меняется давление воздуха на больших высотах. Формула для этого случая принимает такой вид:

$$p = 0{,}999^{h/8},$$

где p — давление в атмосферах, h — высота в метрах. Дробь 0,999 заменила здесь число 1,001, потому что при перемещении вверх на 8 м давление не возрастает на 0,001, а *уменьшается* на 0,001.

Решим для начала задачу: как высоко надо подняться, чтобы давление воздуха уменьшилось *вдвое*?

Для этого приравняем в нашей формуле давление $p = 0{,}5$ атм и станем искать высоту h. Получим уравнение

$$0{,}5 = 0{,}999^{h/8},$$

решить которое не составит труда для читателей, умеющих обращаться с логарифмами. Ответ $h = 5{,}6$ км определяет высоту, на которой давление воздуха должно уменьшиться вдвое.

Направимся теперь еще выше, вслед за отважными советскими воздухоплавателями, достигшими высоты 19 и 22 км. Эти высокие области атмосферы находятся уже в так называемой «стратосфере». Поэтому и шарам, на которых совершаются подобные подъемы, присвоено наименование не аэростатов, а стратостатов. Не думаю,

чтобы среди людей старшего поколения нашелся хотя бы один, который не слыхал бы названий советских стратостатов «СССР» и «ОАХ-1», поставивших в 1933—1934 гг. мировые рекорды высоты: первый — 19 км, второй — 22 км.

Попытаемся вычислить, каково давление атмосферы на этих высотах.

Для высоты 19 км найдем, что давление воздуха должно составлять

$$0{,}999^{19\,000/8} = 0{,}095 \text{ атм} = 72 \text{ мм рт. ст.}$$

Для высоты 22 км

$$0{,}999^{22\,000/8} = 0{,}066 \text{ атм} = 50 \text{ мм рт. ст.}$$

Однако, заглянув в записи стратонавтов, находим, что на указанных высотах отмечены были другие давления: на высоте 19 км — 50 мм рт. ст, на высоте 22 км — 45 мм рт. ст.

Почему же расчет не подтверждается? В чем наша ошибка?

Закон Бойля — Мариотта для газов при столь малом давлении применим вполне, но на этот раз мы сделали другое упущение: считали температуру воздуха одинаковой по всей 20-километровой толще, между тем как она заметно падает с высотой. В среднем принимают, что температура при поднятии на каждый километр падает на 6,5 °С; так происходит до высоты 11 км, где температура равна —56 °С и далее на значительном протяжении остается неизменной. Если принять это обстоятельство во внимание (для чего уже недостаточны средства элементарной математики), получатся результаты, гораздо более согласующиеся с действительностью. По той же причине на итоги наших прежних вычислений, относящихся к давлению воздуха в глубинах, нужно тоже смотреть как на приближенные.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Веер

Когда женщины обмахиваются веерами, им, конечно, становится прохладнее. Казалось бы, занятие это вполне безвредное для остальных присутствующих в помещении, и собравшиеся могут быть только признательны женщинам за охлаждение воздуха в зале.

Посмотрим, так ли это. Почему при обмахивании веером мы ощущаем прохладу? Воздух, непосредственно прилегающий к нашему лицу, нагревается, и эта теплая воздушная маска, невидимо облегающая наше лицо, «греет» его, т. е. замедляет дальнейшую потерю тепла. Если воздух вокруг нас неподвижен, то нагревшийся близ лица слой воздуха весьма медленно вытесняется вверх более тяжелым ненагретым воздухом. Когда же мы смахиваем веером с лица теплую воздушную маску, то лицо соприкасается с все новыми порциями ненагретого воздуха и непрерывно отдает им свою теплоту; тело наше остывает, и мы ощущаем прохладу.

Значит, при обмахивании веером женщины непрерывно удаляют от своего лица нагретый воздух и заменяют его ненагретым; нагревшись, этот воздух удаляется в свою очередь и заменяется новой порцией ненагретого, и т. д.

Работа веером ускоряет перемешивание воздуха и способствует быстрейшему уравниванию температуры воздуха во всем зале, т. е. доставляет облегчение обладательницам веера за счет более прохладного воздуха, окружающего остальных присутствующих. Для действия веера имеет значение еще одно обстоятельство, о котором мы сейчас расскажем.

Отчего при ветре холоднее?

Все знают, конечно, что в тихую погоду мороз переносится гораздо легче, чем при ветре. Но не все представляют себе отчетливо причину этого явления. Больший холод при ветре ощущается *лишь живыми существами*; термометр вовсе не опускается ниже, когда его обдувает ветер. Ощущение резкого холода в ветреную морозную погоду объясняется прежде всего тем, что от лица (и вообще от тела) отнимается при этом гораздо больше тепла, нежели в тихую погоду, когда воздух, нагретый телом, не так быстро сменяется новой порцией холодного воздуха. Чем ветер сильнее, тем бо́льшая масса воздуха успевает в единицу времени прийти в соприкосновение с кожей, и, следовательно, тем больше тепла отнимается от нашего тела. Этого одного уже достаточно, чтобы вызвать ощущение холода.

Но есть и еще причина. Кожа наша всегда испаряет влагу, даже в холодном воздухе. Для испарения требуется теплота; она отнимается от нашего тела и от того слоя воздуха, который к телу прилегает. Если воздух неподвижен, испарение совершается медленно, так как прилегающий к коже слой воздуха скоро насыщается парами (в насыщенном влагой воздухе не происходит интенсивного испарения). Но если воздух движется и к коже притекают все новые и новые его порции, то испарение все время поддерживается очень обильное, а это требует большого расхода теплоты, которая отбирается от нашего тела.

Как же велико охлаждающее действие ветра? Оно зависит от его скорости и от температуры воздуха; в общем оно гораздо значительнее, чем обычно думают. Приведу пример, дающий представление о том, каково бывает это понижение. Пусть температура воздуха 4 °С, а ветра нет никакого. Кожа нашего тела при таких условиях имеет температуру 31 °С. Если же дует легкий ветерок, едва движущий флаги и не шевелящий листвы (скорость 2 м/с), то кожа охлаждается на 7 °С; при ветре, заставляющем флаг полоскаться (скорость 6 м/с), кожа охлаждается на 22 °С: температура ее падает до 9 °С! Эти данные взяты из книги Н. Н. Калитина «Основы физики атмосферы в применении к медицине»; любознательный читатель найдет в ней много интересных подробностей.

Итак, о том, как будет ощущаться нами мороз, мы не можем судить по одной лишь температуре, а должны принимать во внимание также и скорость ветра. Один и тот же мороз переносится в Ленинграде в среднем хуже, чем в Москве, потому что средняя скорость ветра на берегах Балтийского моря равна 5—6 м/с, а в Москве — только 4,5 м/с. Еще легче переносятся морозы в Забайкалье, где средняя скорость ветра всего 1,3 м. Знаменитые [illegible] морозы ощущаются далеко не так жестоко, [illegible] мы, привыкшие в Европе к сравни[illegible] ветрам: Восточная Сибирь отличается [illegible] безветрием, особенно в зимнее время.

[illegible] пустыни

«Значит, ветер и в знойный день должен приносить прохладу,— скажет, быть может, читатель, прочтя предыдущую статью.— Почему же в таком случае путешественники говорят о *горячем дыхании* пустыни?»

Противоречие объясняется тем, что в тропическом климате воздух бывает *теплее, чем наше тело*. Неудивительно, что там при [illegible] становится не прохладнее, а жарче. Теплота передается там уже не от тела воздуху, а обратно — воздух нагревает человеческое тело. Поэтому, чем бóльшая масса воздуха успевает в единицу времени прийти в соприкосновение с телом, тем сильнее ощущение жара. Правда, испарение и здесь усиливается при ветре, но первая причина перевешивает. Вот почему жители пустыни, например туркмены, носят теплые халаты и меховые шапки.

Греет ли вуаль?

Вот еще задача из физики обыденной жизни. Женщины утверждают, что вуаль греет, что без нее лицо зябнет. При взгляде на легкую ткань вуали, нередко с довольно крупными ячейками, мужчины не очень склонны верить этому утверждению и думают, что согревающее действие вуали — игра воображения.

Однако если вы вспомните сказанное выше, то отнесетесь к этому утверждению более доверчиво. Как бы крупны ни были ячейки вуали, воздух через такую ткань проходит все же с некоторым замедлением. Тот слой

воздуха, который непосредственно прилегает к лицу и, нагревшись, служит теплой воздушной маской, — слой этот, удерживаемый вуалью, не так быстро сдувается ветром, как при отсутствии ее. Поэтому нет основания не верить женщинам, что при небольшом морозе и слабом ветре лицо во время ходьбы зябнет в вуали меньше, чем без нее.

Охлаждающие кувшины

Если вам не случалось видеть таких кувшинов, то, вероятно, вы слыхали или читали о них. Эти сосуды из необожженной глины обладают той любопытной особенностью, что налитая в них вода становится прохладнее, чем окружающие предметы. Охлаждающие кувшины в большом распространении у южных народов (между прочим, и у нас в Крыму) и носят различные названия: в Испании — «алькарацца», в Египте — «гоула» и т. д.

Секрет охлаждающего действия этих кувшинов прост: жидкость просачивается через глиняные стенки наружу и там медленно испаряется, отнимая при этом теплоту («скрытую теплоту испарения») от сосуда и заключенной в нем жидкости.

Но неверно, что жидкость в таких сосудах очень охлаждается, как приходится читать в описаниях путешествий по южным странам. Охлаждение не может быть велико. Зависит оно от многих условий. Чем знойнее воздух, тем скорее и обильнее испаряется жидкость, увлажняющая сосуд снаружи, и, следовательно, тем более охлаждается вода внутри кувшина. Зависит охлаждение и от влажности окружающего воздуха: если в нем много влаги, испарение происходит медленно, и вода охлаждается незначительно; в сухом воздухе, напротив, происходит энергичное испарение, вызывающее более заметное охлаждение. Ветер также ускоряет испарение и тем способствует охлаждению; это все хорошо знают по тому ощущению холода, которое приходится испытывать в мокром платье в теплый, но ветреный день. Понижение температуры в охлаждающих кувшинах не превышает 5 °C. В знойный южный день, когда термометр показывает подчас 33 °C, вода в охлаждающем кувшине имеет температуру теплой ванны (28 °C). Охлаждение, как видим, практически бесполезное. Зато

кувшины хорошо сохраняют *холодную воду*; для этой цели их преимущественно и употребляют.

Мы можем попытаться вычислить степень охлаждения воды в «холодильниках».

Пусть у нас имеется кувшин, вмещающий 5 л воды; допустим, что 1/10 л испарилась. Для испарения 1 л (1 кг) воды требуется при температуре 33 °С около 580 ккал (2430 кДж). У нас испарилась 1/10 л, следовательно, понадобилось 58 ккал. Если бы вся эта теплота заимствовалась только от воды, которая находится в кувшине, температура ее понизилась бы на 58/5, т. е. 12 °С. Но большая часть теплоты, необходимой для испарения, отнимается от стенок самого кувшина и от окружающего его воздуха; кроме того, рядом с охлаждением воды в кувшине происходит и нагревание ее теплым воздухом, окружающим кувшин. Поэтому охлаждение воды едва достигает половины полученной выше цифры.

Трудно сказать, где кувшин охлаждается больше,— на солнце или в тени. На солнце ускоряется испарение, но вместе с тем усиливается и приток тепла. Лучше всего, вероятно, держать охлаждающие кувшины в тени на слабом ветре.

«Ледник» без льда

На охлаждении от испарения основано устройство охлаждающего шкафа для хранения продуктов, своего рода «ледника» без льда. Устройство такого охладителя весьма несложно: это ящик из дерева (лучше из оцинкованного железа) с полками, на которые кладут подлежащие охлаждению продукты. Вверху ящика ставится длинный сосуд с чистой холодной водой; в сосуд погружен край холста, который идет вдоль задней стенки ящика вниз, кончаясь в сосуде, помещенном под нижней полкой. Холст пропитывается водой, которая, как по фитилю, все время движется через него, медленно испаряясь и тем самым охлаждая все отделения «ледника» без льда.

Такой «ледник» следует ставить в прохладное место квартиры и каждый вечер менять в нем холодную воду, чтобы она успела за ночь хорошо остудиться. Сосуды, содержащие воду, и холст, пропитываемый ею, должны быть, конечно, совершенно чисты.

Какую жару способны мы переносить?

Человек гораздо выносливее по отношению к жаре, чем обычно думают: он способен переносить в южных странах температуру заметно выше той, какую мы в умеренном поясе считаем едва переносимой. Летом в Средней Австралии нередко наблюдается температура 46 °C в тени; там отмечались даже температуры 55 °C в тени. При переходе через Красное море в Персидский залив температура в корабельных помещениях достигает 50 °C и выше, несмотря на непрерывную вентиляцию.

Наиболее высокие температуры, наблюдавшиеся в природе на земном шаре, не превышали 57 °C. Температура эта установлена в так называемой «Долине Смерти» в Калифорнии. Зной в Средней Азии — самом жарком месте Советского Союза — не бывает выше 50 °C.

Отмеченные сейчас температуры измерялись *в тени*. Объясню кстати, почему метеорологов интересует температура именно в тени, а не на солнце. Дело в том, что температуру *воздуха* измеряет только термометр, выставленный в тени. Градусник, помещенный на солнце, может нагреться его лучами значительно выше, чем окружающий воздух, и показание его нисколько не характеризует теплового состояния воздушной среды. Поэтому и нет смысла, говоря о знойной погоде, ссылаться на показание термометра, выставленного на солнце.

Производились опыты для определения высшей температуры, какую может выдержать человеческий организм. Оказалось, что при весьма постепенном нагревании организм наш *в сухом воздухе* способен выдержать не только температуру кипения воды (100 °C), но иногда даже еще более высокую, до 160 °C, как доказали английские физики Благден и Чентри, проводившие ради опыта целые часы в натопленной печи хлебопекарни. «Можно сварить яйца и изжарить бифштекс в воздухе помещения, в котором люди остаются без вреда для себя», — замечает по этому поводу Тиндаль.

Чем же объясняется такая выносливость? Тем, что организм наш фактически не принимает этой температуры, а сохраняет температуру, близкую к нормальной. Он борется с нагреванием посредством обильного выделения пота; испарение пота поглощает значительное количество тепла из того слоя воздуха, который непосредственно прилегает к коже, и тем в достаточной мере

повышает его температуру. Единственные необходимые условия состоят в том, чтобы тело не соприкасалось непосредственно с источником тепла и чтобы воздух был сух.

Кто бывал в Средней Азии, тот замечал, без сомнения, как сравнительно легко переносится там жара в 37 °С и более: 24-градусная жара в Ленинграде переносится гораздо хуже. Причина, конечно, во влажности воздуха в Ленинграде и сухости его в Средней Азии, где дождь — явление крайне редкое *).

Термометр или барометр?

Известен анекдот о наивном человеке, который не решался принять ванну по следующей необыкновенной причине:

— Я сунул в ванну термометр, а он показал бурю... Опасно купаться!

Но не думайте, что всегда легко отличить термометр от барометра. Есть такие термометры, вернее, термоскопы, которые с не меньшим правом могли бы называться барометрами, и наоборот. Примером может служить старинный термоскоп, придуманный Героном Александрийским (рис. 85). Когда солнечные лучи нагревают шар, воздух в верхней части шара, расширяясь, давит на воду и вытесняет ее по изогнутой трубке наружу; вода начинает капать из конца трубки в воронку, откуда стекает в нижний ящик. В холодную же погоду, напротив, упругость воздуха в шаре уменьшается и вода из нижнего ящика вытесняется давлением наружного воздуха по прямой трубке в шар.

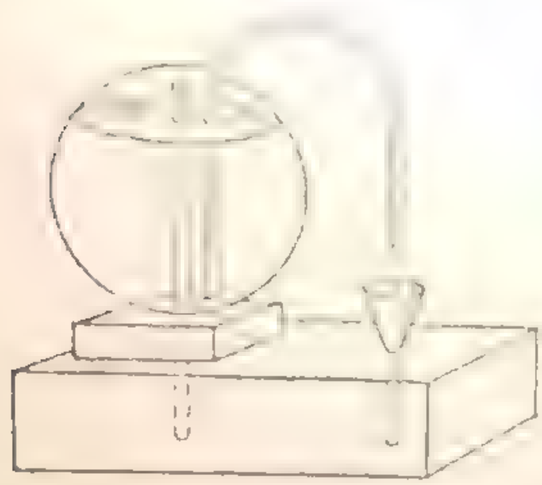


Рис. 85. Термоскоп Герона Александрийского.

Однако прибор этот чувствителен и к изменениям барометрического давления: когда наружное давление ослабевает, воздух внутри шара, сохранивший прежнее более высокое давление, расширяется и вытесняет часть

*) Любопытно, что там мой карманный гигрометр дважды в июне показал *нуль влажности* (13 и 16 июня 1930 г.).

воды по трубке в воронку; при повышении же наружного давления часть воды из ящика вгоняется в шар вследствие большего давления снаружи. Разница температуры в один градус вызовет такое же изменение в объеме воздуха внутри шара, как 760/273, т. е. около 2,5 мм разницы в высоте (ртутного) барометрического столба. В Москве барометрические колебания достигают 20 мм и более, что соответствует 8 °С в термоскопе Герона Александрийского,— значит, такое падение атмосферного давления легко принять за повышение температуры на 8 °С!

Вы видите, что старинный термоскоп в не меньшей мере является и бароскопом. Одно время в продаже имелись у нас водяные барометры, которые являлись в такой же степени и термометрами; об этом, однако, не подозревали не только покупатели, но, кажется, и их изобретатель.

Для чего служит ламповое стекло?

Мало кто знает о том, какой долгий путь прошло ламповое стекло. Длинный ряд тысячелетий люди пользовались для освещения пламенем, не прибегая к услугам стекла. Понадобился гений Леонардо да Винчи (1452—1519), чтобы сделать это важное усовершенствование лампы. Но Леонардо окружил пламя не стеклянной, а металлической трубой; прошло еще три века, прежде чем додумались до замены металлической трубы прозрачным стеклянным цилиндром. Как видите, ламповое стекло — изобретение, над которым работали десятки поколений.

Каково же его назначение?

Едва ли у всех готов правильный ответ на столь естественный вопрос. Защищать пламя от ветра — лишь второстепенная роль стекла. Главное же действие его — в увеличении *яркости* пламени, в ускорении процесса горения. Роль стекла та же, что и печной или заводской трубы: оно усиливает приток воздуха к пламени, усиливает «тягу».

Разберемся в этом. Столб воздуха, находящийся внутри стекла, нагревается пламенем гораздо быстрее, нежели воздух, окружающий лампу. Нагревшись и сделавшись поэтому легче, воздух по закону Архимеда выталкивается вверх более тяжелым ненагретым воздухом, который поступает снизу, через отверстия в

горелке. Таким образом устанавливается постоянное течение воздуха снизу вверх, течение, непрерывно отводящее продукты горения и приносящее свежий воздух. Чем стекло выше, тем больше разница в весе нагретого и ненагретого столба воздуха и тем энергичнее происходит приток свежего воздуха, а следовательно, ускоряется горение. Здесь имеет место то же самое, что и в высоких заводских трубах. Поэтому эти трубы делаются столь высокими*).

Интересно, что уже Леонардо да Винчи отчетливо представлял себе это явление. В его рукописях находим такую запись: «Где зарождается огонь, там вокруг него образуется воздушное течение; оно его поддерживает и усиливает».

Почему пламя не гаснет само собой?

Если вдуматься хорошенько в процесс горения, то невольно возникает вопрос: почему пламя не гаснет само собой? Ведь продуктами горения являются углекислый газ и водяной пар — вещества *негорючие*, неспособные поддерживать горение. Следовательно, пламя с первого же момента горения должно быть окружено негорючими веществами, которые мешают притоку воздуха; без воздуха горение продолжаться не может, и пламя должно погаснуть.

Почему же этого не происходит? Почему горение длится непрерывно, пока есть запас горючего вещества? Только потому, что газы расширяются от нагревания и, следовательно, *становятся легче*. Лишь благодаря этому нагретые продукты горения не остаются на месте своего образования, в непосредственном соседстве с пламенем, а немедленно вытесняются вверх чистым воздухом. Если бы закон Архимеда не распространялся на газы (или если бы не было силы тяжести), всякое пламя, погоревши немного, гасло бы само собой.

Весьма легко убедиться в том, как губительно действуют на пламя продукты его горения. Вы нередко пользуетесь этим, сами того не подозревая, чтобы загасить огонь в лампе. Как задуваете вы керосиновую лампу? Дуете в нее сверху, т. е. гоните вниз, к пламени, негорючие продукты его горения; и оно гаснет, лишенное свободного доступа воздуха.

Жюль Верн подробно поведал нам, как проводили время трое смельчаков внутри снаряда, мчащегося на Луну. Однако он не рассказал о том, как Мишель Ардан исполнял обязанности повара в этой необычной обстановке. Вероятно, романист полагал, что стряпня внутри летящего снаряда не представляет ничего такого, что заслуживало бы описания. Если так, то он ошибался. Дело в том, что внутри летящего снаряда все предметы *становятся невесомыми* *). Жюль Верн упустил из виду это обстоятельство. А согласитесь, что стряпня в невесомой кухне — сюжет, вполне достойный пера романиста, и надо только пожалеть, что талантливый автор «Путешествия на Луну» не уделил внимания этой теме. Попытаюсь восполнить недостающую главу в романе, чтобы дать читателю некоторое представление о том, насколько эффектно могла бы вылиться она из-под пера самого Жюля Верна.

При чтении этой статьи читатель должен все время не упускать из виду, что внутри снаряда, как уже сказано, *нет силы тяжести*: все предметы в нем *невесомы*.

Завтрак в невесомой кухне [2])

— Друзья мои, ведь мы еще не завтракали,— объявил Мишель Ардан своим спутникам по межпланетному путешествию.— Из того, что мы потеряли свой вес в пушечном снаряде, не следует вовсе, что мы потеряли и аппетит. Я берусь устроить вам, друзья мои, невесомый завтрак, который, без сомнения, будет состоять из самых легких блюд, когда-либо изготовлявшихся на свете.

И, не ожидая ответа товарищей, француз принялся за стряпню.

— Наша бутыль с водой притворяется пустой,— ворчал про себя Ардан, возясь с раскупоркой большой бутыли.— Не проведешь меня: я ведь знаю, отчего ты легкая... Так, пробка вынута. Изволь излить в кастрюлю свое невесомое содержимое!

Но сколько ни наклонял он бутыли, вода не выливалась.

— Не трудись, милый Ардан,— явился на выручку Николь.— Пойми, что в нашем снаряде, где нет тяжести, вода не может *литься*. Ты должен ее *вытрясти* из бутыли, как если бы это был густой сироп.

Не долго думая, Ардан хлопнул ладонью по дну опрокинутой бутыли. Новая неожиданность: у горлышка тотчас же раздулся водяной шар, величиной с кулак.

---

*) Подробное разъяснение этого интересного обстоятельства приведено в первой книге «Занимательная физика», а также в моих книгах «Межпланетные путешествия», «К звездам на ракете» и «Ракетой на Луну».

— Что стало с нашей водой? — изумился Ардан.— Вот, признаюсь, совсем излишний сюрприз! Объясните же, ученые друзья мои, что тут произошло?

— Это *капля*, милый Ардан, простая водяная капля. В мире без тяжести капли могут быть как угодно велики... Вспомни, что ведь жидкости только под влиянием тяжести принимают форму сосудов, льются в виде струй и т. д. Здесь же нет тяжести, жидкость предоставлена своим внутренним молекулярным силам и должна принять форму шара, как масло в знаменитом опыте Плато.

— Мне никакого дела нет до этого Плато с его опытами! Я должен вскипятить воду для бульона, и, клянусь, никакие молекулярные силы не [illegible] меня! — запальчиво объявил француз.

Он яростно [illegible] вытряхивать воду над парящей в воздухе кастрюлей, но, по [illegible], все было в заговоре против него. Большие водяные [illegible], [illegible] кастрюли, быстро расползались по ее поверхности [illegible] кончилось: с внутренних стенок вода переходила [illegible] растекалась по ним,— и вскоре кастрюля оказалась [illegible] толстым водяным слоем. Кипятить воду в таком [illegible] возможности.

— Вот [illegible] показывающий, как велика сила сцепления,— спокойно [illegible] обескураженному Ардану невозмутимый Николь.— Ты не волнуйся: ведь здесь обыкновенное смачивание жидкостями [illegible] в данном случае тяжесть не мешает развиться [illegible] с полной силой.

— И очень жаль, что [illegible]! — возразил Ардан.— Смачивание здесь или что-[illegible], но мне необходимо иметь воду *внутри* кастрюли, а не [illegible] нее. Вот где новости какие! Ни один повар в мире не согласится готовить бульон при подобных условиях!

— Ты легко можешь воспрепятствовать смачиванию, если оно так мешает тебе,— успокоительно вставил м-р Барбикен.— Вспомни, что вода не смачивает тел, покрытых хотя бы тонким слоем жира. Обмажь свою кастрюлю снаружи жиром, и ты удержишь воду внутри нее.

— Браво! Вот это я называю истинной ученостью,— обрадовался Ардан, приводя совет в исполнение. Затем он приступил к нагреванию воды на пламени газовой горелки.

Положительно все складывалось против Ардана. Газовая горелка — и та закапризничала: прогорев полминуты тусклым пламенем, она погасла по необъяснимой причине.

Ардан возился вокруг горелки, терпеливо нянчился с пламенем, но хлопоты не приводили ни к чему: пламя отказывалось гореть.

— Барбикен! Николь! Неужели же нет средства заставить это упрямое пламя гореть так, как полагается ему по законам вашей физики и по уставам газовых компаний? — взывал к друзьям обескураженный француз.

— Но здесь нет ничего необычайного и ничего неожиданного,— объяснил Николь.— Это пламя горит именно так, как полагается согласно физическим законам. А газовые компании... я думаю, они все разорились бы, если бы не было тяжести. При горении, ты знаешь, образуются углекислота, водяной пар, словом, газы негорючие; обыкновенно эти продукты горения не остаются возле самого пламени: как теплые и, следовательно, более легкие, они вытесняются притекающим свежим воздухом. Но тут у нас нет тяжести,— поэтому продукты горения остаются на месте возникнове-

[illegible] обволакивает пламя слоем негорючих газов и преграждает [illegible] свежему воздуху. Оттого-то пламя так тускло здесь горит и [illegible] догорает. Ведь действие огнетушителей на том и основано, что пламя окружается негорючим газом.

— Значит, по-твоему, — перебил француз, — если бы на Земле не было тяжести, то не было бы и пожарных команд: пожар погас бы сам собой, задыхался бы в собственном дыхании?

— Совершенно верно. А пока, чтобы помочь делу, зажги еще раз горелку и давай обдувать пламя. Нам, я надеюсь, удастся создать искусственную тягу и заставить пламя гореть «по-земному».

Так и сделали. Ардан снова зажег горелку и принялся за стряпню, не без злорадства [illegible] Николь с Барбикеном поочередно обдували и [illegible], чтобы непрерывно вводить в него свежий воздух. В [illegible] француз считал своих друзей и их науку [illegible].

— Вы в некотором [illegible] фабричной трубы, поддерживая тягу [illegible]. — Мне очень жаль вас, ученые друзья мои, [illegible] горячий завтрак, придется подчиниться велениям [illegible] физики.

Однако прошло [illegible] час, а вода в кастрюле и не думала закипать.

— Тебе придется вооружиться терпением, милый Ардан. Видишь ли, обыкновенная, весомая вода быстро нагревается — почему? Только потому, что в ней происходит перемешивание слоев: нагретые нижние слои, более легкие, вытесняются холодными сверху, и в результате вся жидкость [illegible] высокую температуру. Случалось тебе когда-либо нагревать воду не снизу, а сверху? Тогда перемешивания слоев не происходит, потому что верхние нагретые слои остаются на месте. Теплопроводность же воды ничтожна; верхние слои можно даже довести до кипения, в то время как в нижних будут находиться куски нерастаявшего льда. Но в нашем невесомом мире безразлично, откуда нагревать воду: круговорота в кастрюле возникать не может, и вода должна нагреваться очень медленно. Если желаешь ускорить нагревание, ты должен все время перемешивать воду.

Николь предупредил Ардана, чтобы он не доводил воду до 100 °С, а ограничился несколько пониженной температурой. При 100 °С образуется много пара, который, обладая здесь удельным весом, одинаковым с удельным весом воды (оба равны нулю), будет смешиваться с ней в однородную пену.

Досадная неожиданность произошла с горохом. Когда Ардан, развязав мешочек, слегка тряхнул его, горошины рассеялись в воздухе и стали безостановочно бродить внутри каюты, ударяясь о стенки и отскакивая от них. Эти витающие горошины чуть не наделали большой беды: Николь нечаянно вдохнул одну из них и так раскашлялся, что едва не задохнулся. Чтобы избавиться от такой опасности и очистить воздух, друзья наши принялись усердно вылавливать летающие горошины тем сачком, который Ардан предусмотрительно захватил с собой «для сбора коллекции лунных бабочек».

Нелегко было стряпать при таких условиях. Ардан был прав, когда утверждал, что здесь спасовал бы самый искусный повар. Немало пришлось повозиться и при жарении бифштекса: надо было все время придерживать мясо вилкой, иначе упругие пары масла, образующиеся под бифштексом, выталкивали его из кастрюли, и

недожаренное мясо летело «вверх», — если можно употребить это слово там, где не было ни «верха», ни «низа».

Странную картину представлял и сам обед в этом мире, ли[illegible]. [illegible] висели в воздухе в весьма разнообразных [illegible], [illegible] вошеност[и], и поминутно стукались головами друг о друга. Сидеть, конечно, не приходилось. Такие [illegible] — совершенно бесполезны в мире, где нет [illegible]. [illegible] стол был бы здесь не нужен, если бы не [illegible] завтракать непременно «за столом».

Тру[illegible] но еще труднее оказалось съесть его. [illegible] бульон по чашкам никак не у[illegible]. [illegible] за такую попытку потерей труд[illegible] невесом, он с досадой ударил по дну [illegible] изгнать из нее упрямый бульон. В [illegible] огромная шарообразная [illegible]. Ардану понадобилось проявить [illegible] поймать и водворить в кастрюлю с таким трудом сваренный бульон.

Попытка пользоваться ложками осталась безрезультатной: бульон смач[illegible]цев и висел на ней сплошной пеленой. [illegible] чтобы предупредить смачивание, но дело от [illegible] бульон превратился на ложке в шарик, и не [illegible] благополучно донести эту невесомую [illegible].

В конце концов [illegible] задачи: сделали трубки из восковой бумаги [illegible] бульон, втягивая его в рот. Таким же способом [illegible] друзьям во время путешествия пить воду, вино и вообще всякие жидкости *).

Почему вода гасит огонь?

На столь простой вопрос не всегда умеют правильно ответить, и читатель, надеемся, не посетует на нас, если мы объясним вкратце, в чем, собственно, заключается это действие воды на огонь.

Во-первых, прикасаясь к горящему предмету, вода превращается в пар, отнимая при этом много теплоты

---

*) Многие читатели этой книги выражали свое недоумение по поводу того, как можно пить в среде без тяжести — даже по способу, указанному сейчас: ведь воздух в летящем снаряде невесом, следовательно, не производит давления, а при отсутствии давления нельзя пить, всасывая в себя жидкость. Странным образом, возражение это высказывалось и в печати некоторыми рецензентами. Между тем вполне очевидно, что невесомость воздуха при данных условиях нисколько не связана с отсутствием давления: воздух давит в замкнутом пространстве вовсе не потому, что он весом, а потому, что, как тело газообразное, он стремится безгранично расшириться. В *открытом* пространстве на земной поверхности роль стенок, препятствующих расширению, играет *тяжесть*; эта привычная зависимость и ввела в заблуждение моих критиков.

у горящего тела; чтобы превратить крутой кипяток в пар, нужно впятеро с лишком больше теплоты, чем для нагревания того же количества холодной воды до 100 °C. Во-вторых, пары, образующиеся при этом, занимают объем, в сотни раз больший, чем породившая их вода; окружая горящее тело, пары оттесняют воздух, а без воздуха горение невозможно.

Чтобы увеличить «огнегасительную» силу воды, иногда примешивают к ней... порох! Это может показаться странным, однако это вполне разумно: порох быстро сгорает, выделяя большое количество негорючих газов, которые, окружая собой горящие предметы, затрудняют горение.

Как тушат огонь с помощью огня?

Вы слыхали, вероятно, что лучшее, а иной раз и единственное средство борьбы с лесным или степным пожаром — это поджигание леса или степи с противоположной стороны. Новое пламя идет навстречу бушующему морю огня и, уничтожая горючий материал, лишает

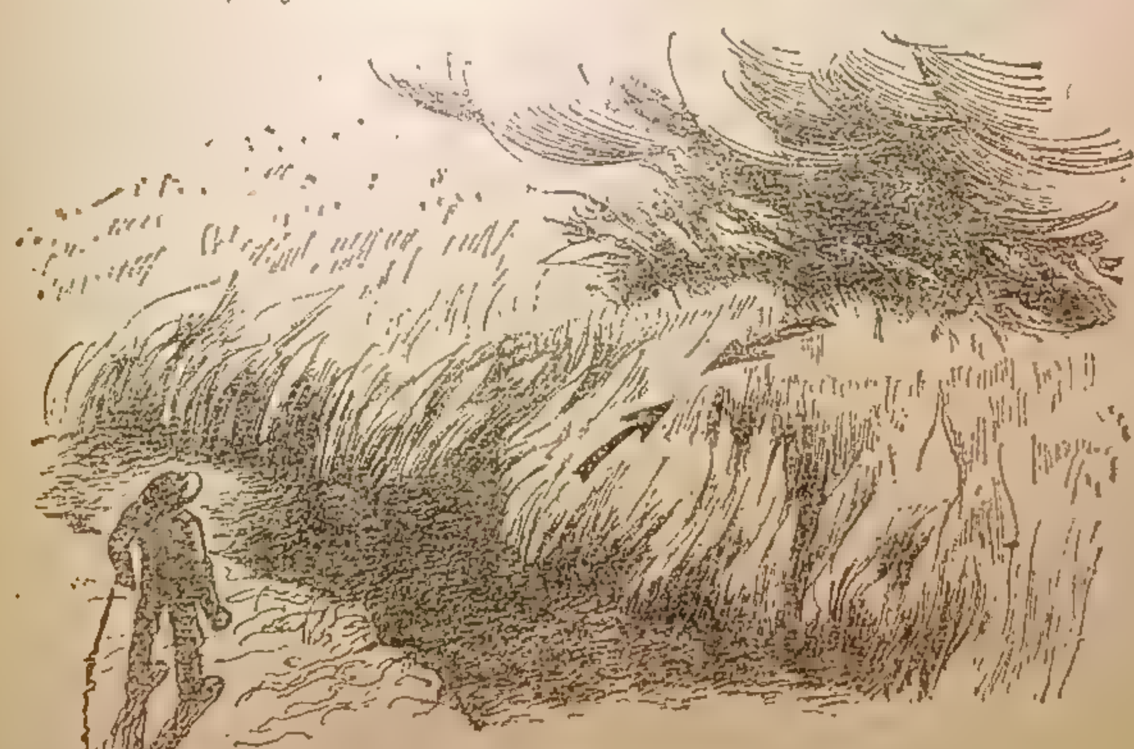


Рис. 86. Тушение степного пожара огнем.

огонь пищи; встретившись, обе огненные стены мгновенно гаснут, словно пожрав друг друга (рис. 86).

Описание того, как пользовались этим приемом тушения огня при пожаре американских степей, многие, конечно, читали у Купера в романе «Прерия». Можно ли

забыть тот драматический момент, когда старик траппер спас от огненной смерти путников, застигнутых в степи пожаром? Вот это место из «Прерии»:

«Старик внезапно принял решительный вид.

— Настало время действовать,— сказал он.

— Вы слишком поздно спохватились, жалкий старик! — крикнул Миддлтон.— Огонь на расстоянии четверти мили от нас, и ветер несет его к нам с ужасающей быстротой!

— Вот как! Огонь! Не очень-то я боюсь его. Ну, молодцы, полно! Приложите-ка руки к этой высохшей траве и обнажите землю.

В очень короткое время было очищено место футов в двадцать в диаметре. Траппер велел женщинам на один край этого небольшого пространства, сказав, чтобы они покрыли одеялами свои платья, легко могущие воспламениться. Приняв эти предосторожности, старик подошел к противоположному краю, где стихия окружила путников высоким, опасным кольцом, и, взяв щепотку самой сухой травы, положил ее на полку ружья и поджег. Легко воспламеняющееся вещество вспыхнуло сразу. Тогда старик бросил пылавшую траву в высокую заросль и, отойдя к центру круга, стал терпеливо ожидать результата своего дела.

Разрушительная стихия с жадностью набросилась на новую пищу, и в одно мгновение пламя стало лизать траву.

— Ну,— сказал старик,— теперь вы увидите, как огонь сразит огонь.

— Но неужели это не опасно? — воскликнул удивленный Миддлтон.— Не приближаете ли вы к нам врага, вместо того чтобы отдалять его?

Огонь, все увеличиваясь, начал распространяться в три стороны, замирая на четвертой вследствие недостатка пищи. По мере того как огонь увеличивался и бушевал все сильнее и сильнее, он очищал перед собой все пространство, оставляя черную дымящуюся почву гораздо более обнаженной, чем если бы трава на этом месте была скошена косой.

Положение беглецов стало бы еще рискованнее, если бы очищенное ими место не увеличивалось по мере того, как пламя окружало его с остальных сторон.

Через несколько минут пламя стало отступать во всех направлениях, оставляя людей окутанными облаком дыма, но в полной безопасности от потока огня, продолжавшего бешено нестись вперед.

Зрители смотрели на простое средство, употребленное траппером, с тем же изумлением, с каким, как говорят, царедворцы Фердинанда смотрели на способ Колумба поставить яйцо».

Этот прием тушения степных и лесных пожаров не так, однако, прост, как кажется с первого взгляда. Пользоваться встречным огнем для тушения пожара должен лишь человек очень опытный,— иначе бедствие может даже усилиться.

Вы поймете, какая для этого нужна сноровка, если зададите себе вопрос: почему огонь, зажженный траппером, побежал навстречу пожару, а не в обратном направ-

лении? Ведь ветер дул со стороны пожара и гнал огонь на путников! Казалось бы, пожар, причиненный траппером, должен был направиться не навстречу огненному морю, а назад по степи. Если бы так случилось, путники оказались бы окруженными огненным кольцом и неминуемо погибли бы.

В чем заключался секрет траппера?

В знании простого физического закона. Хотя ветер дул по направлению от горящей степи к путникам,— но *впереди, близ огня*, должно было существовать обратное течение воздуха, *навстречу* пламени. В самом деле: нагреваясь над морем огня, воздух становится легче и вытесняется вверх притекающим со всех сторон свежим воздухом со степи, не затронутой пламенем. Близ границы огня устанавливается поэтому *тяга воздуха навстречу пламени*. Зажечь встречный огонь необходимо в тот момент, когда пожар приблизится достаточно, чтобы ощутилась тяга воздуха. Вот почему траппер не спешил приниматься за дело раньше времени, а спокойно ждал нужного момента. Стоило поджечь траву немного раньше, когда встречная тяга еще не установилась,— и огонь распространился бы в обратном направлении, сделав положение людей безвыходным. Но и промедление могло быть не менее роковым: огонь подошел бы чересчур близко.

Можно ли воду вскипятить кипятком?

Возьмите небольшой пузырек (баночку или колбу), налейте в него воды и поместите в стоящую на огне кастрюлю с чистой водой так, чтобы склянка не касалась дна кастрюли; вам придется, конечно, подвесить этот пузырек на проволочной петле. Когда вода *в кастрюле* закипит, то, казалось бы, вслед за тем должна закипеть и вода в пузырьке. Можете, однако, ждать, сколько вам угодно,— вы не дождетесь этого: вода в пузырьке будет горяча, очень горяча, но кипеть она не будет. Кипяток оказывается недостаточно горячим, чтобы вскипятить воду.

Результат как будто неожиданный, между тем его надо было предвидеть. Чтобы довести воду до кипения, недостаточно только нагреть ее до 100 °С: надо еще сообщить ей значительный запас тепла для того, чтобы перевести воду в другое агрегатное состояние, а именно в пар.

Чистая вода кипит при 100 °С; выше этой точки ее температура при обычных условиях не поднимается, сколько

бы мы ее ни нагревали. Значит, источник теплоты, с помощью которого мы нагреваем воду в пузырьке, имеет температуру 100 °С; он может довести воду в пузырьке также только до 100 °С. Когда наступит это равенство температур, *дальнейшего перехода тепла от воды кастрюли к пузырьку не будет.*

Итак, нагревая воду в пузырьке таким способом, мы не можем доставить ей того избытка теплоты, который необходим для перехода воды в пар (каждый грамм воды, нагретый до 100 °С, требует еще свыше 500 кал, чтобы перейти в пар). Вот почему вода в пузырьке хотя и нагревается, но не кипит.

Может возникнуть вопрос: чем же отличается вода в пузырьке от воды в кастрюле? Ведь в пузырьке та же вода, только отделенная от остальной массы стеклянной перегородкой. Почему же не происходит с ней того же, что и с остальной водой?

Потому что перегородка мешает воде пузырька участвовать в тех течениях, которые перемешивают всю воду в кастрюле. Каждая частица воды в кастрюле может непосредственно коснуться накаленного дна, вода же пузырька соприкасается только с кипятком.

Итак, мы видели, что чистым кипятком вскипятить воду нельзя. Но стоит в кастрюлю всыпать горсть соли, и дело меняется. Соленая вода кипит не при 100 °С, а немного выше и, следовательно, может в свою очередь довести до кипения чистую воду в стеклянном пузырьке.

Можно ли вскипятить воду снегом?

«Если уж кипяток для этой цели непригоден, то что говорить о снеге!» — ответит иной читатель. Не торопитесь с ответом, а лучше проделайте опыт хотя бы с тем же стеклянным флаконом, который вы только что употребляли.

Налейте в него воды до половины и погрузите в кипящую *соленую воду*. Когда вода во флаконе закипит, выньте его из кастрюли и быстро закупорьте заранее приготовленной пробкой. Теперь переверните флакон и ждите, пока кипение внутри него прекратится. Выждав этот момент, облейте флакон кипятком, — вода не закипит. Но положите на его донышко немного снегу или даже просто облейте его холодной водой, как показано на рис. 87, — и вы увидите, что вода закипит... Снег сделал то, чего не мог сделать кипяток!

Это тем более загадочно, что на ощупь флакон не будет особенно горяч. Между тем вы собственными глазами видите, как вода в нем кипит!

Разгадка в том, что снег охладил стенки флакона; вследствие этого пар внутри сгустился в водяные капли. А так как воздух из стеклянного флакона был выгнан еще при кипячении, то теперь вода подвергается в нем гораздо меньшему давлению. Но известно, что при уменьшении давления на жидкость она кипит при температуре более низкой.

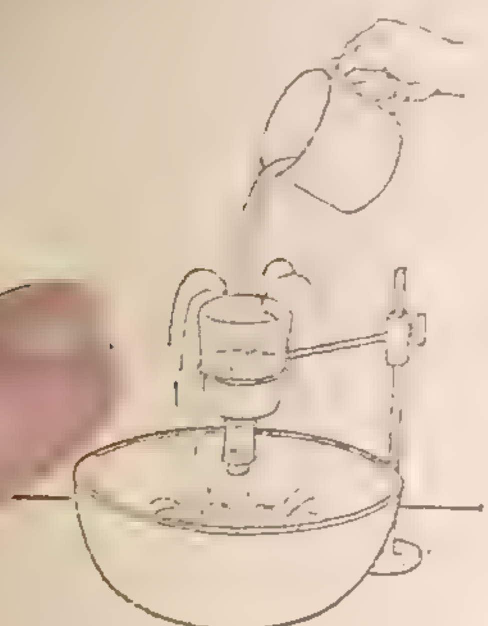


Рис. 87. Закипание воды во флаконе, обливаемом холодной водой.

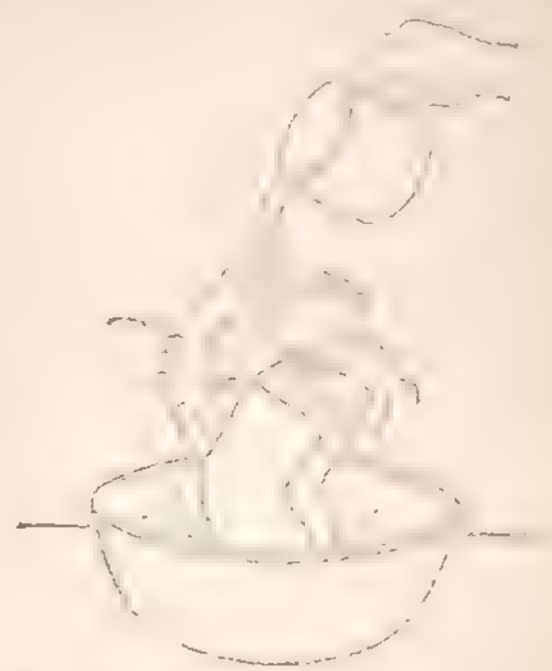


Рис. [illegible]

Мы имеем, следовательно, в нашем флаконе хотя и кипяток, но *кипяток негорячий*.

Если стенки флакона очень тонки, то внезапное сгущение паров внутри него может вызвать нечто вроде взрыва; давление внешнего воздуха, не встречая достаточного противодействия изнутри флакона, способно раздавить его (вы видите, между прочим, что слово «взрыв» здесь неуместно). Лучше брать поэтому склянку круглую (колбу с выпуклым дном), чтобы воздух давил на свод.

Всего безопаснее производить подобный опыт с жестянкой для керосина, масла и т.п. Вскипятив в ней немного воды, завинтите плотно пробку и облейте посуду холодной водой. Тотчас же жестянка с паром сплющится давлением наружного воздуха, так как пар внутри нее превратится при охлаждении в воду. Жестянка будет измята давлением воздуха, словно по ней ударили тяжелым молотом (рис. 88).

«Суп из барометра»

В книге «Странствования за границей» американский юморист Марк Твен рассказывает об одном случае своего альпийского путешествия — случае, разумеется, вымышленном (рис. 89):

«Неприятности наши кончились; поэтому люди могли отдохнуть, а у меня, наконец, явилась возможность обратить внимание на научную сторону экспедиции. Прежде всего я хотел определить посредством барометра высоту места, где мы находились, но, к сожалению, не получил никаких результатов. Из моих научных чтений я знал, что не то термометр, не то барометр следует кипятить для получения показаний. Который именно из двух, — я не знал наверное и потому решил прокипятить оба.

И все-таки не получил никаких результатов. Осмотрев оба инструмента, я увидел, что они вконец испорчены: у барометра была только одна медная стрелка, а в шарике термометра болтался комок ртути...



Рис. 89. «Ученые изыскания» Марка Твена.

Я отыскал другой барометр; он был совершенно новый и очень хороший. Полчаса кипятил я его в горшке с бобовой похлебкой, которую варил повар. Результат получился неожиданный: инструмент совершенно перестал действовать, но суп приобрел такой сильный привкус барометра, что главный повар — человек очень умный — изменил его название в списке кушаний. Новое блюдо заслужило всеобщее одобрение, так что я приказал готовить каждый день суп из барометра. Конечно, барометр был совершенно испорчен, но я не особенно жалел о нем. Раз он не помог мне определить высоту местности, значит, он больше мне не нужен».

Отбросив шутки, постараемся ответить на вопрос: что же в самом деле следовало «кипятить», термометр или барометр?

Термометр, и вот почему.

Из предыдущего опыта мы видели, что чем меньше давление на воду, тем ниже температура ее кипения. Так как с поднятием в горы атмосферное давление уменьшается, то должна вместе с тем понижаться и температура кипения воды. И действительно, наблюдаются следующие температуры кипения чистой воды при различных давлениях атмосферы:

Температура кипения, °C	101	100	98	96	94	92	90	88	86
Давление, мм рт. ст.	787,7	760	707	657,5	611	567	525,5	487	450

В Берне (Швейцария), где среднее давление атмосферы 713 мм рт. ст., вода в открытых сосудах кипит уже при 97,5 °C, а на вершине Монблана, где барометр показывает 424 мм рт. ст., кипяток имеет температуру всего 84,5 °C. С поднятием на каждый километр температура кипения воды падает на 3 °C. Значит, если мы измерим температуру, при которой кипит вода (по выражению Твена, если «будем кипятить термометр»), то, *сверившись с соответствующей таблице*, сможем узнать высоту места. Для этого необходимо, конечно, иметь в распоряжении заранее составленные таблицы, о чем Марк Твен [illegible] забыл.

Употребляемые для этой цели приборы — гипсотермометры [3]) — не менее удобны для переноски, чем металлические барометры, и дают гораздо более точные показания.

Разумеется, и барометр может служить для определения высоты места, так как он прямо, без всякого «кипячения», показывает давление атмосферы: чем выше мы поднимаемся, тем давление меньше. Но и тут необходимы либо таблицы, показывающие, как уменьшается давление воздуха по мере поднятия над уровнем моря, либо знание соответствующей формулы. Все это будто бы смешалось в голове юмориста и побудило его «варить суп из барометра».

Всегда ли кипяток горяч?

Бравый ординарец Бен-Зуф, с которым читатель, без сомнения, познакомился по роману Жюля Верна «Гектор Сервадак», был твердо убежден, что кипяток всегда и всюду одинаково горяч. Вероятно, он думал бы так всю жизнь, если бы случаю не угодно было забросить его, вместе с командиром Сервадаком, на... комету. Это капризное светило, столкнувшись с Землей, отрезало от нашей планеты как раз тот участок, где находились оба героя, и унесло их далее по своему эллиптическому пути. И вот тогда-то ординарец впервые убедился на собственном опыте, что кипяток вовсе не всюду одинаково горяч. Сделал он это открытие неожиданно, готовя завтрак.

«Бен-Зуф налил воды в кастрюлю, поставил ее на плиту и ждал, когда закипит вода, чтобы опустить в нее яйца, которые казались ему пустыми, так они мало весили.

Менее чем через две минуты вода уже закипела.

— Черт побери! Как огонь греет теперь! — воскликнул Бен-Зуф.

— Не огонь греет сильнее,— ответил, подумав, Сервадак,— а вода закипает скорее.

И, сняв со стены термометр Цельсия, он опустил его в кипящую воду.

Градусник показал только шестьдесят шесть градусов.

— Ого! — воскликнул офицер.— Вода кипит при шестидесяти шести градусах вместо ста!

— Итак, капитан? . . .

— Итак, Бен-Зуф, советую тебе продержать яйца в кипятке четверть часа.

— Но они будут [illegible]!

— Нет, [illegible], они будут едва сварены.

При[illegible] было, очевидно, уменьшение высоты атмосферы. [illegible] столб над поверхностью почвы уменьши[illegible] на одну треть, и вот почему вода, подверг[illegible], кипела при шестидесяти шести градусах [illegible] давление имело бы место на горе, высотой [illegible]. И если бы у капитана был барометр, он [illegible] уменьшение воздушного давления».

Наб[illegible] мы не станем подвергать сомнению [illegible], что вода кипела при 66 °С, и мы примем это как факт. Но весьма сомнительно, чтобы они могли чувствовать себя хорошо в той разреженной атмосфере, в которой они находились.

Автор «Гектора Сервадака» совершенно правильно замечает, что подобное явление наблюдалось бы на высоте 11 000 м: там вода, как видно из расчета *), действительно должна кипеть при 66 °С. Но давление атмосферы при этом должно быть равно 190 мм рт. ст., ровно вчетверо меньше нормального. В воздухе, разреженном до такой степени, почти невозможно дышать! Ведь речь идет о высотах, находящихся уже в стратосфере! Мы знаем, что летчики, достигавшие такой высоты без масок, лишались сознания от недостатка воздуха, а между тем Сервадак и его ординарец чувствовали себя сносно. Хорошо, что у Сервадака под рукой не оказалось барометра: иначе романисту пришлось бы заставить этот инструмент показывать не ту цифру, которую он должен был бы показать согласно законам физики.

Если бы наши герои попали не на воображаемую комету, а, например, на Марс, где атмосферное давление не превы-

*) В самом деле, если, как мы сказали в предыдущей статье, точка кипения воды падает на 3 °С с поднятием на каждый километр, то для понижения температуры кипения до 66 °С нужно подняться на 34 : 3≈11 км.

шает 60—70 мм рт. ст. [4]), им пришлось бы пить еще менее горячий кипяток — всего в 45 °С!

Наоборот, очень горячий кипяток можно получить на дне глубоких шахт, где давление воздуха значительно больше, чем на поверхности Земли. В шахте глубиной 300 м вода кипит при 101 °С, на глубине 600 м — при 102 °С.

При значительно повышенном давлении закипает вода и в котле паровой машины. Например, при 14 атм вода закипает при 200 °С. Напротив, под колоколом воздушного насоса можно заставить бурно кипеть воду при обыкновенной комнатной температуре, получая «кипяток» всего в 20 °С [5]).

Горячий лед

Сейчас шла речь о прохладном кипятке. Есть и еще более удивительная [illegible]: *горячий лед*. Мы привыкли думать, что вода в [illegible] состоянии не может существовать при температуре [illegible] °С. Исследования английского физика Бридж[illegible], что это не так: под весьма значительным [illegible] переходит в твердое состояние и остается [illegible] температуре значительно выше 0 °С. Вообще Бри[illegible], что может существовать не один сорт льда, а несколько. Тот лед, который он называет «льдом № 5», [illegible] под чудовищным давлением в 20 600 атм и [illegible] при температуре 76 °С. Он обжег бы нам паль[illegible] могли до него дотронуться. Но прикоснов[illegible] невозможно: лед № 5 образуется под давлением [illegible] пресса в толстостенном сосуде из лучшей стали. [illegible] его или взять в руки нельзя, и о свойствах «горячего [illegible]» узнают лишь косвенным образом.

Любопытно, что «горячий лед» плотнее обыкновенного, плотнее даже воды: его плотность 1,05 г/см³. Он должен был бы тонуть в воде, между тем как обыкновенный лед в ней плавает.

Холод из угля

Получение из угля не жара, а, напротив, холода не является чем-то несбыточным: оно каждодневно осуществляется на заводах так называемого «сухого льда». Уголь сжигается здесь в котлах, а образующийся дым очищается, причем содержащийся в нем углекислый газ улавливается

щелочным раствором. Выделяемый затем в чистом виде путем нагревания углекислый газ при последующем охлаждении и сжатии переводится в жидкое состояние под давлением 70 атм. Это — та жидкая углекислота, которая в толстостенных баллонах доставляется на заводы шипучих напитков и употребляется для промышленных надобностей. Она достаточно холодна, чтобы заморозить грунт, как делалось при сооружении московского метро; но для многих целей требуется располагать углекислотой в твердом виде, тем, что называется *сухим льдом.*

Сухой лед, т. е. твердая углекислота, получается из жидкой при быстром ее испарении под уменьшенным давлением. Куски сухого льда по внешности напоминают скорее прессованный снег, нежели лед, и вообще во многом отличаются от твердой воды. Углекислый лед тяжелее обыкновенного льда и тонет в воде. Несмотря на чрезвычайно низкую температуру (−78°), холод его не ощущается пальцами, если бережно взять кусок в руки: образующийся при соприкосновении с нашим телом углекислый газ защищает кожу от действия холода. Лишь сжав брусок сухого льда, мы рискуем отморозить пальцы.

Название «сухой лед» чрезвычайно удачно подчеркивает главную физическую особенность этого льда. Он действительно никогда мокрым не бывает и ничего не увлажняет кругом себя. Под влиянием теплоты он переходит сразу в газ, минуя жидкое состояние: существовать в жидком виде углекислота под давлением в 1 атм не может.

Эта особенность сухого льда вместе с его низкой температурой делает его незаменимым охладительным веществом для практических надобностей. Продукты, сохраняемые при помощи углекислого льда, не только не увлажняются, но защищаются от порчи еще и тем, что образующийся углекислый газ является средой, препятствующей развитию микроорганизмов; поэтому на продуктах не появляется плесени и бактерий. Насекомые и грызуны также не могут жить в такой атмосфере. Наконец, углекислота является надежным противопожарным средством: несколько кусков сухого льда, брошенные в горящий бензин, гасят огонь. Все это обеспечило сухому льду самое широкое применение в промышленности и в бытовой технике.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

МАГНЕТИЗМ. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

«Любящий камень»

Такое поэтическое название дали китайцы естественному магниту. Любящий камень (тшу-ши),— говорят китайцы,— притягивает железо, как нежная мать привлекает своих детей. Замечательно, что у французов — народа, живущего на противоположном конце материка, мы встречаем сходное название для магнита: французское слово «aimant» означает и «магнит», и «любящий» [1].

Сила этой «любви» у естественных магнитов незначительна, и потому очень наивно звучит греческое название магнита — «геркулесов камень». Если обитатели древней Эллады так поражались умеренной силой притяжения естественного магнита, то что сказали бы они, увидев на современном металлургическом заводе магниты, поднимающие глыбы в целые тонны! Правда, это не естественные магниты, а электромагниты, т. е. железные массы, намагниченные электрическим током, проходящим по окружающей их обмотке. Но в обоих случаях действует сила одной и той же природы — магнетизм.

Не следует думать, что магнит действует только на железо. Есть ряд других тел, которые тоже испытывают на себе действие сильного магнита, хотя и не в такой степени, как железо. Металлы: никель, кобальт, марганец, платина, золото, серебро, алюминий — в слабой степени притягиваются магнитом. Еще замечательнее свойства так называемых диамагнитных тел, например цинка, свинца, висмута: эти тела отталкиваются от сильного магнита!

Жидкости и газы также испытывают на себе притяжение или отталкивание магнита, правда, в весьма слабой степени; магнит должен быть очень силен, чтобы проявить свое влияние на эти вещества. Чистый кислород, например, притягивается магнитом; если наполнить кислородом мыльный пузырь и поместить его между полюсами сильного

электромагнита, пузырь заметно вытянется от одного полюса к другому, растягиваемый невидимыми магнитными

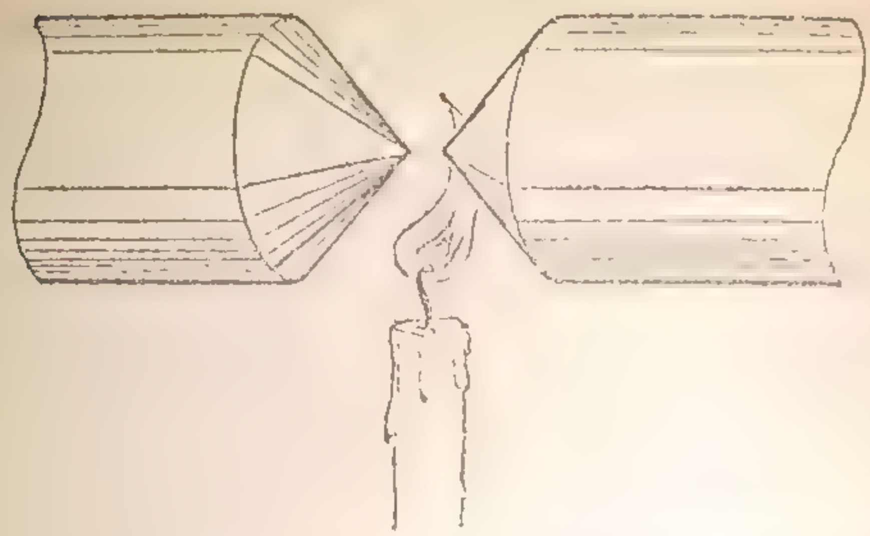


Рис. 90. Пламя свечи между полюсами электромагнита.

силами. Пламя свечи между полюсами сильного электромагнита изменяет свою обычную форму, явно обнаруживая чувствительность к магнитным силам (рис. 90).

Задача о компасе

Мы привыкли думать, что стрелка компаса всегда обращена одним концом на север, другим — на юг. Нам покажется поэтому совершенно несуразным следующий вопрос: где на земном шаре магнитная стрелка показывает на север *обоими концами*?

И еще нелепее прозвучит вопрос: где на земном шаре магнитная стрелка обоими концами показывает на юг?

Вы готовы утверждать, что подобных мест на нашей планете нет и быть не может. Однако же они существуют.

Вспомните, что магнитные полюсы Земли не совпадают с ее географическими полюсами — и вы, вероятно, сами догадаетесь, о каких местах нашей планеты идет в задаче речь. Куда будет показывать стрелка компаса, помещенная на южном географическом полюсе? Один ее конец будет направлен в сторону ближайшего магнитного полюса, другой — в противоположную. Но в какую бы сторону мы ни шли от южного географического полюса, мы всегда будем направляться *на север*; другого направления от южного географического полюса нет,— кругом него всюду север. Значит, помещенная там магнитная стрелка будет показывать на север обоими концами.

Точно так же стрелка компаса, перенесенного на северный географический полюс, обоими концами должна показывать на юг.

Линии магнитных сил

Любопытную картину изображает рис. 91, воспроизведенный с фотографии: от руки, помещенной на полюсы электромагнита, торчат вверх пучки железных булавок, словно жесткие волосы. Сама по себе рука совершенно не ощущает магнитной силы: невидимые нити проходят сквозь нее, ничем не выдавая своего присутствия. А железные булавки послушно подчиняются ее воздействию и располагаются в определенном порядке, обнаруживая перед нами направление магнитных сил.

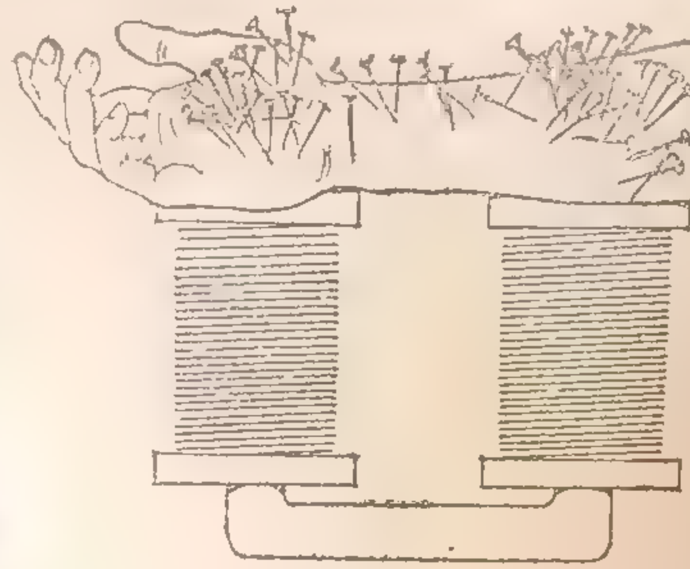


Рис. 91. Магнитные силы «проходят» через руку.

У человека нет магнитного органа чувств; поэтому о существовании магнитных сил, которые окружают магнит, мы можем лишь догадываться *). Однако нетрудно косвенным образом обнаружить картину распределения этих сил. Лучше всего сделать это с помощью мелких железных опилок. Насыпьте опилки тонким ровным слоем на кусок гладкого картона или на стеклянную пластинку; подведите под картон или пластинку обыкновенный магнит и встряхивайте опилки легкими ударами. Магнитные силы сво-

---

*) Небезынтересно представить себе, что переживали бы мы, если бы обладали непосредственным магнитным чувством. Крейдлю удалось, так сказать, привить ракам род магнитного чувства. Он заметил, что молодые раки засовывают себе в ухо маленькие камешки; эти камешки под действием силы тяжести действуют на чувствительный волосок, являющийся составной частью органа равновесия рака. Подобные же камешки, называемые отолитами, имеются и в ухе человека, поблизости от основного органа слуха. Действуя в направлении вертикали, эти камешки указывают направление силы тяжести. Вместо камешков Крейдль подложил ракам железные опилки, чего они не заметили. При поднесении магнита к раку последний располагался в плоскости, перпендикулярной к слагающей из магнитной силы и силы тяжести.

«В последнее время соответствующие опыты в измененной форме удалось произвести и над человеком. Келер приклеивал небольшие железные частицы к ушной барабанной перепонке; благодаря этому ухо воспринимало колебания магнитной силы как звук». (О. Винер.)

бедно «проходят» сквозь картон и стекло; следовательно, железные опилки под действием магнита намагнитятся; когда мы встряхиваем их, они на мгновение отделяются от картона и могут под действием магнитных сил легко повернуться, заняв то положение, которое приняла бы в данной точке магнитная стрелка, т. е. вдоль магнитной «силовой линии». В результате опилки располагаются изогнутыми рядами, наглядно обнаруживая распределение невидимых магнитных линий.

Поместим над магнитом пластинку с опилками и встряхнем ее. Мы получим фигуру, изображенную на рис. 92.

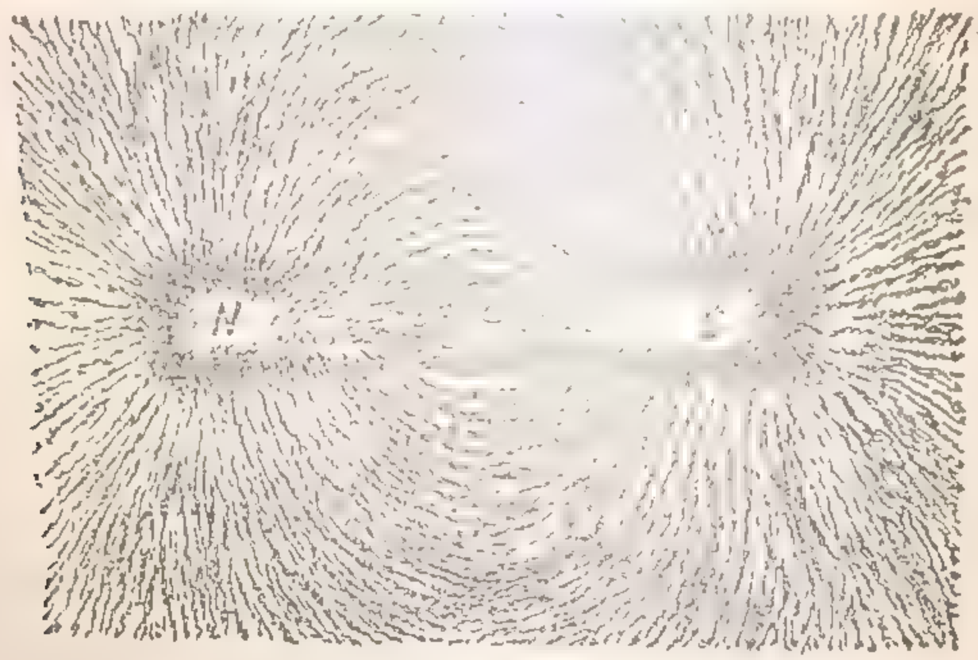


Рис. 92. Расположение железных опилок на пластинке, покрывающей полюсы магнита.

Магнитные силы создают сложную систему изогнутых линий. Вы видите, как они лучисто расходятся от каждого магнита, как опилки соединяются между собой, образуя то короткие, то длинные дуги между обоими полюсами. Железные опилки воочию показывают здесь то, что мысленно рисует перед собой физик и что невидимым образом присутствует вокруг каждого магнита. Чем ближе к полюсу, тем линии опилок гуще и четче; напротив, с удалением от полюса они разрежаются и утрачивают отчетливость, наглядно доказывая ослабление магнитных сил с расстоянием.

Как намагничивается сталь?

Чтобы ответить на этот вопрос, который часто задают читатели, надо разъяснить прежде всего, чем отличается магнит от немагнитного бруска стали. Каждый атом желе-

за, входящего в состав стали — намагниченной или ненамагниченной, — мы можем представлять себе как маленький магнитик [2]). В стали ненамагниченной атомные магнитики расположены беспорядочно, так что действие каждого уничтожается действием противоположно расположенного магнитика (рис. 93, *а*). Напротив, в магните все атомные магнитики расположены упорядоченно, одноименными полюсами в одном и том же направлении (рис. 93, *б*).

Что же происходит в бруске стали, когда его натирают магнитом? Силой своего притяжения магнит поворачивает атомные магнитики стального бруска одноименными полюсами в одну и ту же сторону. На рис. 93, *в* показано, как атомные магнитики поворачиваются сначала южными полюсами к северному полюсу магнита, а затем, когда магнит отводится далее, располагаются вдоль направления его движения, южными полюсами к середине бруска.

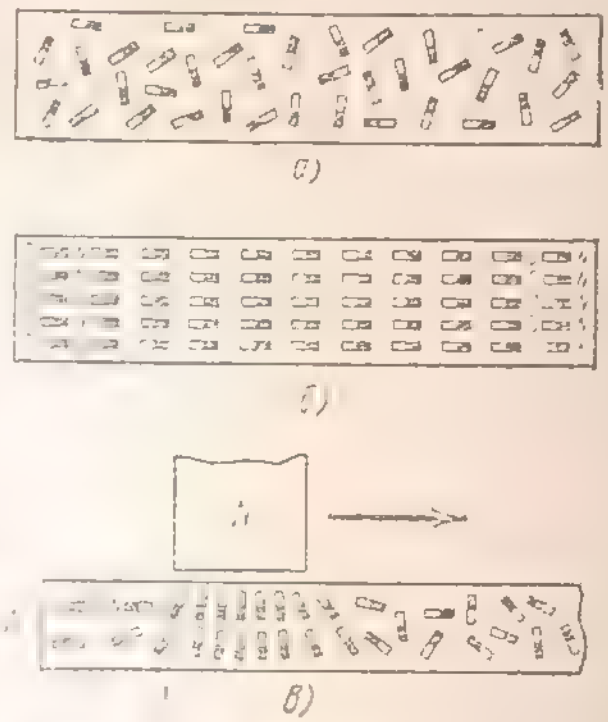


Рис. 93. Расположение атомных магнитиков в ненамагниченной (*а*) и в намагниченной (*б*) стали, а также при намагничивании (*в*).

Отсюда легко [illegible] надо действовать магнитом при намагничивании [illegible] стали: надо прист[illegible] концу бруска один [illegible] магнита и, плотно прижимая, вести магнит вдоль бруска. Это один из простейших и древнейших приемов намагничивания, годный, однако, для получения лишь слабых магнитов небольшого размера. Сильные магниты можно получить, если для намагничивания использовать магнитное действие электрического тока.

Исполинские электромагниты

На металлургических заводах можно видеть электромагнитные подъемные краны, переносящие огромные грузы. Такие краны оказывают при подъеме и перемещении железных масс неоценимые услуги на сталелитейных и тому подобных заводах. Массивные железные глыбы или части машин в десятки тонн с удобством переносятся электромагнитными подъемными кранами без прикрепления. Точно

так же переносят они без ящиков и упаковки листовое железо, проволоку, гвозди, железный лом и другие материалы, переноска которых иным способом потребовала бы немало хлопот.

Как хлопотливо было бы собирать и переносить кучу железных плит, которую разом собрал и перенес могучий электромагнитный подъемный кран, изображенный на рис. 94; здесь выгода не только в экономии сил, но и в упрощении самой работы. На рис. 95 вы видите, как электромагнитный кран переносит даже упакованные в бочках

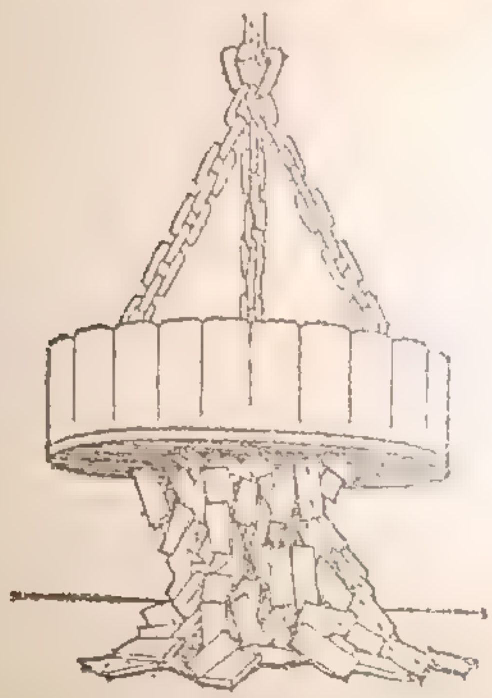


Рис. 94. Электромагнитный подъемный кран, переносящий железные плиты.

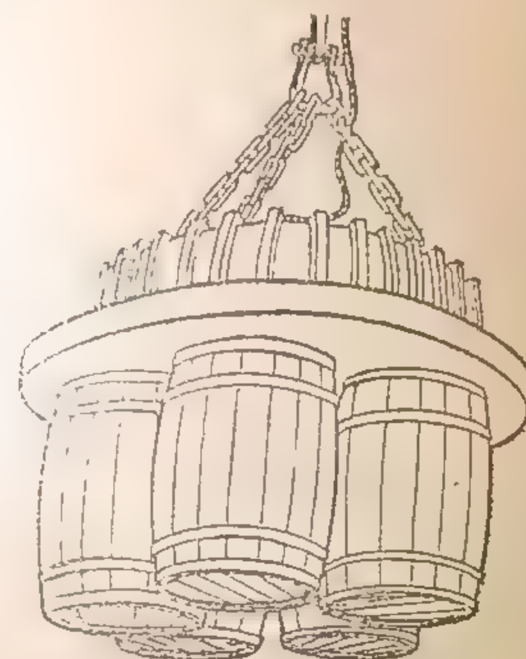


Рис. 95. Электромагнитный подъемный кран, переносящий бочки с гвоздями.

гвозди, сразу поднимая по пять бочек! На одном только металлургическом заводе четыре электромагнитных крана, каждый из которых может переносить сразу десять рельсов, заменяют ручной труд двухсот рабочих. Не надо заботиться о прикреплении этих тяжестей к подъемному крану: пока идет ток в обмотке электромагнита, до тех пор ни один груз не упадет с него.

Но если ток в обмотке почему-либо прервется, авария неизбежна. Такие случаи вначале бывали. Вот что было написано в одном журнале:

«На одном американском заводе электромагнит поднимал железные болванки, подвозимые в вагонах, и бросал их в печь. Внезапно на электростанции Ниагарского водопада, подающей ток, что-то случилось, ток был прерван; масса металла сорвалась с электромагнита и всей своей тяжестью обрушилась на голову рабочего. Чтобы избежать повторения подобных несчастных случаев, а также с целью сэкономить потребление электрической энергии, при элект-

...магнитах устраиваются особые приспособления. После того как переносимые предметы подняты магнитом, сбоку опускаются и плотно закрываются прочные стальные подхватки, которые затем и поддерживают груз, пока же во время транспортировки прерывания.

Поперечник электромагнитов, изображенных на рис. 94, 5, достигает 1,5 м. Каждый магнит способен поднять до 16 тонн (товарный вагон). Один такой магнит переносит за сутки более 600 тонн груза. Есть электромагниты, способные поднять сразу до 75 тонн, т. е. целый паровоз!

При взгляде на такую работу электромагнитов у иного читателя, быть может, мелькнула мысль: как удобно было бы переносить при помощи магнитов *раскаленные* железные болванки! К сожалению, это возможно только до известной температуры, так как *раскаленное железо не намагничивается*. Нагретый до 800° С магнит утрачивает магнитные свойства [3].

Современная техника металлообработки широко пользуется электромагнитами для удержания и продвижения стальных, железных и чугунных изделий. Сконструированы сотни различных патронов, столов и других приспособлений, значительно упрощающих и ускоряющих обработку.

Магнитные фокусы

Силой электромагнитов пользуются иногда и фокусники; легко представить, какие эффектные трюки проделывают они с помощью этой невидимой силы. Дари, автор известной книги «Электричество в его применениях», приводит следующий рассказ одного французского фокусника о представлении, данном им в Алжире:

«На сцене находится небольшой окованный ящик с ручкой на крышке. Я вызываю из зрителей человека посильнее. В ответ на мой вызов выступил араб среднего роста, но крепкого сложения, представляющий собой аравийского геркулеса. Выходит он с бодрым и самонадеянным видом и, немного насмешливо улыбаясь, останавливается около меня.

— Очень вы сильны? — спросил я его, оглядев с ног до головы.

— Да, — отвечал он небрежно.

— Уверены ли вы, что всегда останетесь сильным?

— Совершенно уверен.

— Вы ошибаетесь: в одно мгновение ока я могу отнять у вас силу, и вы сделаетесь слабым, подобно малому ребенку.

Араб презрительно улыбнулся в знак недоверия к моим словам.

— Подойдите сюда, — сказал я, — и поднимите ящик.

Араб нагнулся, поднял ящик и высокомерно спросил:

— Больше ничего?

— Подождите немножко,— отвечал я.

Затем, приняв серьезный вид, я сделал повелительный жест и произнес торжественным тоном:

— Вы теперь слабее женщины. Попробуйте снова поднять ящик.

Силач, нисколько не устрашась моих чар, опять взялся за ящик, но на этот раз ящик оказывает сопротивление и, несмотря на отчаянные усилия араба, остается неподвижным, словно прикованный к месту. Араб силится поднять ящик с такой силой, которой хватило бы для поднятия огромной тяжести, но все напрасно. Утомленный, запыхавшись и сгорая от стыда, он, наконец, останавливается. Теперь он начинает верить в силу чародейства».

Секрет чародейства представителя «цивилизаторов» был прост. Железное дно ящика помещено на подставке, представляющей полюс сильного электромагнита. Пока тока нет, ящик поднять нетрудно; но стоит пустить ток в обмотку электромагнита, и ящик нельзя будет оторвать даже усилиями двух-трех человек.

Магнит для тренировок спортсменов

Неожиданное применение нашел себе сильный магнит для тренировок тяжелоатлетов. Электромагнит, употребляемый для подъемных кранов, подвешивается на некоторой высоте над полом, немного выше человеческого роста, а атлет, держа в руках железный утюг, стремится побороть магнитное притяжение электромагнитного аппарата. В зависимости от тока, который регулируется тренером, притяжение бывает различно и может достигать такой силы, что атлет, не желающий выпустить утюга из рук, рискует повиснуть на магните, если товарищи соединенными усилиями не помогут ему удержаться на месте.

Магнит в земледелии

Еще любопытнее та полезная служба, которую несет магнит в сельском хозяйстве, помогая земледельцу очищать семена культурных растений от семян сорняков. Сорняки обладают ворсистыми семенами, цепляющимися за шерсть проходящих мимо животных и благодаря этому распространяющимися далеко от материнского растения. Этой особенностью сорняков, выработавшейся у них в течение миллионов лет борьбы за существование, воспользовалась сельскохозяйственная техника для того, чтобы отделить с помощью магнита шероховатые семена сорняков от глад-

ких семян таких полезных растений, как лен, клевер, люцерна.

Если засоренные семена культурных растений обсыпать железным порошком, то крупинки железа плотно облепят семена сорняков, но не пристанут к гладким семенам полезных растений. Попадая затем в поле действия достаточно сильного электромагнита, смесь семян автоматически разделяется на чистые семена и на сорную примесь: магнит вылавливает из смеси все те семена, которые облеплены железными опилками [1]).

Магнитная летательная машина

В начале этой книги я ссылался на занимательное сочинение французского писателя Сирано де Бержерака «История государств на Луне и Солнце». В ней, между прочим, описана любопытная летательная машина, действие которой основано на магнитном притяжении и с помощью которой один из героев повести прилетел на Луну. Привожу это место сочинения дословно:

«Я приказал изготовить легкую железную повозку; войдя в нее и устроившись удобно на сиденье, я стал подбрасывать высоко над собой магнитный шар. Железная повозка тотчас же поднималась вверх. Каждый раз, как я приближался к тому месту, куда меня притягивал шар, я снова подбрасывал его вверх. Даже когда я просто приподнимал шар в руках, повозка поднималась, стремясь приблизиться к шару. После многократного бросания шара вверх и поднятия повозки я приблизился к месту, откуда началось мое падение на Луну. И так как в этот момент я крепко держал в руках магнитный шар, повозка прижималась ко мне и не покидала меня. Чтобы не разбиться при падении, я подбрасывал свой шар таким образом, чтобы падение повозки замедлялось его притяжением. Когда я был уже всего в двух-трех сотнях саженей от лунной почвы, я стал бросать шар под прямым углом к направлению падения, пока повозка не оказалась совсем близко к почве. Тогда я выпрыгнул из повозки и мягко опустился на песок».

Никто, конечно,— ни автор романа, ни читатели его книги — не сомневается в полной непригодности описанной летательной машины. Но не думаю, чтобы многие умели правильно сказать, в чем, собственно, кроется причина неосуществимости этого проекта: в том ли, что нельзя подкинуть магнит, находясь в железной повозке, в том ли, что повозка не притянется к магниту, или в чем-либо ином?

Нет, подбросить магнит можно, и он подтянул бы повозку, если достаточно силен,— а все-таки летательная машина нисколько не подвигалась бы вверх.

Случалось ли вам бросать тяжелую вещь с лодки на берег? Вы, без сомнения, замечали при этом, что сама лодка отодвигается от берега. Ваши мускулы, сообщая бросаемой вещи толчок в одном направлении, отталкивают одновременно ваше тело (а с ним и лодку) в обратном направлении. Здесь проявляется тот закон равенства действующей и противодействующей сил, о котором нам не раз уже приходилось говорить. При бросании магнита происходит то же самое: седок, подбрасывая магнитный шар вверх (с большим усилием, потому что шар притягивается к железной повозке), неизбежно отталкивает всю повозку вниз. Когда же затем шар и повозка снова сближаются взаимным притяжением, они только возвращаются на первоначальное место. Ясно, следовательно, что если бы даже повозка ничего не весила, то бросанием магнитного шара можно было бы сообщить ей только колебания вокруг некоторого среднего положения; заставить ее таким способом двигаться поступательно невозможно.

Во времена Сирано де Бержерака (в середине XVII века) закон действия и противодействия еще не был провозглашен; сомнительно поэтому, чтобы французский сатирик мог отчетливо объяснить несостоятельность своего шутливого проекта.

Наподобие «магометова гроба»

Любопытный случай наблюдался однажды при работе с электромагнитным подъемным краном. Один из рабочих заметил, что электромагнитом был притянут тяжелый железный шар с короткой, приделанной к полу цепью, которая не дала шару вплотную приблизиться к магниту: между шаром и магнитом оставался промежуток в ладонь шириной. Получилась необычайная картина: цепь, торчащая отвесно вверх! Сила магнита оказалась так велика, что цепь сохранила свое вертикальное положение, даже когда на ней повис рабочий наподобие легендарного «магометова гроба» (рис. 96) *).

*) Это указывает на огромную силу электромагнита, тогда как притягивающее действие магнитов значительно ослабевает с увеличением расстояния между полюсом и притягиваемым телом. Подковообразный магнит, удерживающий при непосредственном соприкосновении груз в сотню граммов, уменьшает свою подъемную силу вдвое, когда между ним и грузом вводится листок бумаги. Вот почему концы магнита обычно не покрывают краской, хотя она и предохранила бы их от ржавчины.

Кстати, о «магометовом гробе». Правоверные мусульмане убеждены, что гроб с останками «пророка» покоится в воздухе, вися в усыпальнице без всякой опоры между полом и потолком.

Возможно ли это?

«Повествуют, — пишет Эйлер в своих «Письмах о разных физических материях», — что гробницу Магомета держит сила некоторого магнита; это кажется не невозможным, потому что есть магниты, искусством сделанные, которые поднимают до 100 фунтов» *).

Такое объяснение несостоятельно; если бы [illegible] ом (т. е. пользу[illegible] магнита) подоб[illegible] было достигнуто на один момент, то малейшего [illegible] дуновения воздуха было бы достаточно, чтобы его нарушить, — и тогда гроб либо упал бы на пол, либо подтянулся бы к потолку. Удержать его неподвижно практически так же невозможно, как поставить конус на его вершине, хотя теоретически последнее и допустимо.

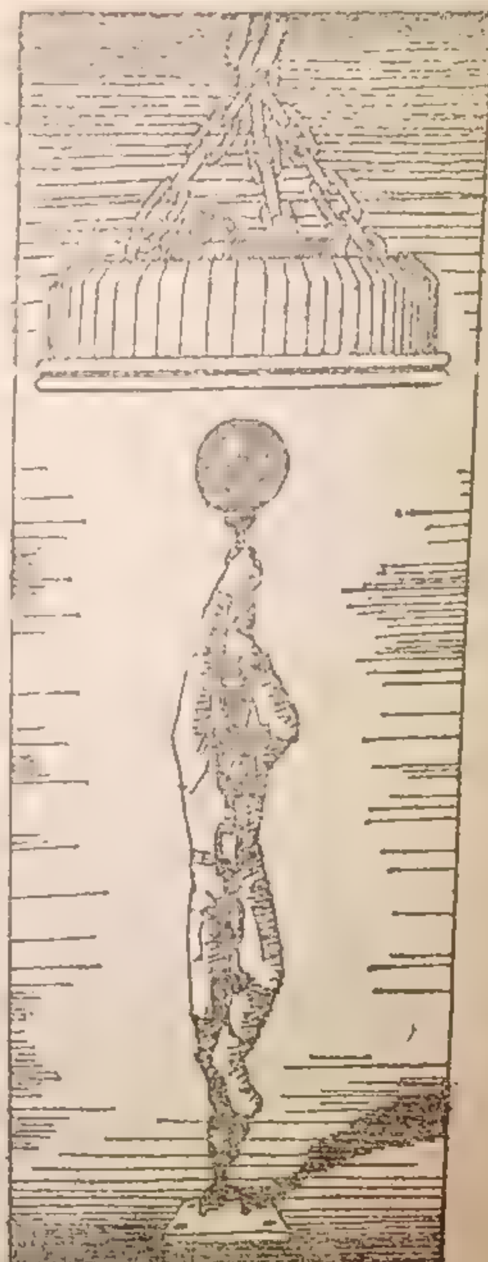


Рис. 96. Железная цепь с грузом, торчащая вверх.

Впрочем, явление «магометова гроба» вполне можно воспроизвести и с помощью магнитов, — но только пользуясь не взаимным их *притяжением*, а, напротив, взаимным *отталкиванием*. (О том, что магниты могут не только притягиваться, но и отталкиваться, часто забывают даже люди, еще недавно изучавшие физику.)

Как известно, одноименные полюсы магнитов взаимно отталкиваются. Два намагниченных бруска, расположенных так, что их одноименные полюсы приходятся один над другим, отталкиваются; подобрав массу верхнего бруска надлежащим образом, нетрудно добиться того, чтобы он

*) Написано в 1774 г., когда электромагниты еще не были известны.

витал над нижним, держась без прикосновения к нему, в устойчивом равновесии. Надо лишь стойками из немагнитного материала — например, стеклянными — предупредить возможность поворота верхнего магнита в горизонтальной плоскости. В подобной обстановке мог бы витать в воздухе и легендарный гроб Магомета [5]).

Наконец, явление этого рода осуществимо и силой магнитного *притяжения*, если добиваться его для тела движущегося. На этой мысли основан замечательный проект



Рис. 97. Электромагнитная дорога без трения.

электромагнитной железной дороги *без трения* (рис. 97), предложенный советским физиком Б. П. Вейнбергом. Проект настолько поучителен, что каждому интересующемуся физикой полезно с ним познакомиться.

Электромагнитный транспорт

В железной дороге, которую предлагал устроить Б. П. Вейнберг, вагоны *совершенно невесомы*; их вес уничтожается электромагнитным притяжением. Вы не удивитесь поэтому, если узнаете, что согласно проекту вагоны не катятся по рельсам, не плавают по воде, даже не скользят в воздухе,— они летят без всякой опоры, не прикасаясь ни к чему, вися на невидимых нитях могучих магнитных сил. Они не испытывают ни малейшего трения и, следовательно, будучи раз приведены в движение, сохраняют по инерции свою скорость, не нуждаясь в работе локомотива.

Осуществляется это следующим образом. Вагоны движутся внутри медной трубы, из которой выкачан воздух, чтобы его сопротивление не мешало движению вагонов. Трение о дно уничтожается тем, что вагоны движутся, *не касаясь стенок трубы*, поддерживаемые в безвоздушном пространстве силой электромагнитов. С этой целью вдоль

всего пути над трубой расставлены, на определенных расстояниях друг от друга, очень сильные электромагниты. Они притягивают к себе *железные* вагоны, движущиеся внутри трубы, и мешают им падать. Сила магнитов рассчитана так, что железный вагон, проносящийся в трубе, все время остается между ее «потолком» и «полом», не прикасаясь ни к тому, ни к другому. Электромагнит подтягивает проносящийся под ним вагон вверх,— но вагон не успевает удариться о потолок, так как его влечет сила тяжести; едва он готов коснуться пола, его поднимает притяжение следующего электромагнита... Так, подхватываемый все время электромагнитами, вагон мчится по волнистой линии без трения, без толчков, как планета в мировом пространстве.

Что же представляют собой вагоны? Это — сигарообразные цилиндры диаметром 90 см, длиной 2,5 м. Конечно, вагон герметически закрыт,— ведь он движется в безвоздушном пространстве,— и подобно подводным лодкам снабжен аппаратами для автоматической очистки воздуха.

Способ отправления вагонов в путь также совершенно отличен от всего, что применялось до сих пор: его можно сравнить разве только с пушечным выстрелом. И действительно, вагоны эти буквально «выстреливаются», как снаряды, только «пушка» здесь электромагнитная [6]. Устройство станции отправления основано на свойстве спирально закрученной, в форме катушки, проволоки (обмотки соленоида) при прохождении тока втягивать в себя железный стержень; втягивание происходит с такой стремительностью, что стержень при достаточной длине обмотки и силе тока может приобрести огромную скорость. В новой магнитной дороге эта-то сила и будет выбрасывать вагоны. Так как внутри трубы трения нет, то скорость вагонов не уменьшается, и они мчатся по инерции, пока их не задержит соленоид станции назначения.

Вот несколько подробностей, приводимых автором проекта:

«Опыты, которые я ставил в 1911—1913 гг. в физической лаборатории Томского технологического института, производились с медной трубой (диаметром 32 см), над которой находились электромагниты, а под ними на подставке вагончик — кусок железной трубы с колесами спереди и сзади и с «носом», которым он для остановки ударялся в кусок доски, опиравшейся о мешок с песком. Вагончик этот весил 10 кгс. Можно было придать вагончику скорость около 6 км/ч, выше которой при ограниченности размеров комнаты и кольцевой трубы (диаметр кольца был 6,5 м) нельзя было

идти. Но в разработанном мною проекте при трехверстной длине соленоидов на станции отправления скорость легко довести до 800—1000 км/ч, а благодаря отсутствию воздуха в трубе и отсутствию трения о пол или потолок не надо тратить никакой энергии для ее поддержания.

Несмотря на большую стоимость сооружения и, в особенности, самой медной трубы, все же благодаря отсутствию трат на мощность для *поддержания* скорости, на каких-либо машинистов, кондукторов и т. п., стоимость километра — от нескольких тысячных до 1—2 сотых копейки, а пропускная способность двухтрубного пути — 15 000 пассажиров или 10 000 тонн в сутки в одном направлении»[7]).

Идея Б. П. Вейнберга, в видоизмененном виде, нашла себе практическое применение на Московском почтамте для передвижения легких грузов. Длина опытного участка была 120 м, скорость передвижения 30 м/с. Подобная же электромагнитная [illegible] была устроена в Ленинградской Публичной библиотеке для передачи читательских заказов.

Сражение [illegible] с жителями Земли

Естествоиспыт[illegible] Рима Плиний передает распространенный [illegible] рассказ о магнитной скале где-то в Индии, у [illegible], которая с необычайной силой притягивала к се[illegible] железные предметы. Горе моряку, дерзнувшему приблизиться на своем корабле к этой скале. Она вытянет из судна все гвозди, винты, железные скрепы,— и корабль распадется на отдельные доски.

Впоследствии это сказание вошло в сборник сказок «Тысяча и одна ночь».

Конечно, это не более как легенда. Мы знаем, что магнитные горы, т. е. горы, богатые магнитным железняком, действительно существуют,— вспомним знаменитую Магнитную гору, где высятся домны Магнитогорска. Однако сила притяжения подобных гор чрезвычайно мала, почти ничтожна. А таких гор или скал, о каких писал Плиний, на земном шаре никогда не существовало.

Если в настоящее время и строятся суда без железных и стальных частей, то делается это не из боязни магнитных скал, а для удобного изучения земного магнетизма[8]).

Научный романист Курт Лассвиц воспользовался идеей легенды Плиния, чтобы придумать грозное военное оружие, к которому в его романе «На двух планетах» прибегают пришельцы с Марса в борьбе с земными армиями. Располагая таким магнитным (вернее, электромагнитным) оружием,

марсиане даже не вступают в борьбу с земными жителями, а обезоруживают их еще до начала сражения.

Вот как описывает романист этот эпизод сражения между марсианами и жителями Земли.

«Блестящие ряды всадников неудержимо ринулись вперед. И казалось, будто самоотверженная решимость войска понудила наконец могущественного неприятеля (марсиан.— *Я. П.*) к отступлению, так как между его воздушными кораблями возникло новое движение. Они поднялись на воздух, словно собираясь уступить дорогу.

Одновременно с этим, однако, опустилась сверху какая-то темная широко расстилающаяся масса, теперь только появившаяся над полем. Подобно развевающемуся покрывалу, масса эта, со всех сторон окруженная воздушными кораблями, быстро развернулась над полем. Вот первый ряд всадников попал в район ее действия,— и тотчас же странная машина распростерлась над всем полком. Действие, произведенное ею, было неожиданно и чудовищно! С поля донесся пронзительный вопль ужаса. Лошади и всадники клубком валялись на земле, а воздух был наполнен густой тучей копий, сабель и карабинов, с громом и треском летевших вверх к машине, к которой они и пристали.

Машина скользнула немного в сторону и сбросила свою железную жатву на землю. Еще два раза возвращалась она и словно скосила все находившееся на поле оружие. Не нашлось ни одной руки, которая оказалась бы в силах удержать саблю или копье.

Машина эта была новым изобретением марсиан: она с неодолимой силой притягивала к себе все сделанное из железа и стали. С помощью этого витающего в воздухе магнита марсиане вырывали из рук своих противников оружие, не причиняя им никакого вреда.

Воздушный магнит пронесся далее и приблизился к пехоте. Тщетно солдаты старались обеими руками удержать свои ружья,— непреодолимая сила вырывала их из рук; многие, все-таки не выпускавшие их, были сами увлечены на воздух. В несколько минут первый полк был обезоружен. Машина понеслась вдогонку за марширующими в городе полками, готовя для них ту же участь.

Подобная же судьба постигла и артиллерию».

Часы и магнетизм

При чтении предыдущей статьи естественно возникает вопрос: нельзя ли защититься от действия магнитных сил, укрыться от них за какой-нибудь непроницаемой для них преградой?

Это вполне возможно, и фантастическое изобретение марсиан могло бы быть обезврежено, если бы заранее были приняты надлежащие меры.

Как ни странно, веществом, непроницаемым для магнитных сил, является то же самое железо, которое так легко намагничивается! *Внутри* кольца из железа стрелка

компаса не отклоняется магнитом, помещенным вне кольца.

Железным *футляром* можно защитить от магнитных сил стальной механизм карманных часов (рис. 98). Если бы вы положили золотые часы на полюсы сильного подковообразного магнита, то все стальные части механизма, прежде всего тонкая волосяная пружинка при балансире *), намагнитились бы и часы перестали бы ходить правильно. Удалив магнит, вы не вернете часов к прежнему состоянию, стальные части механизма останутся намагниченными, и

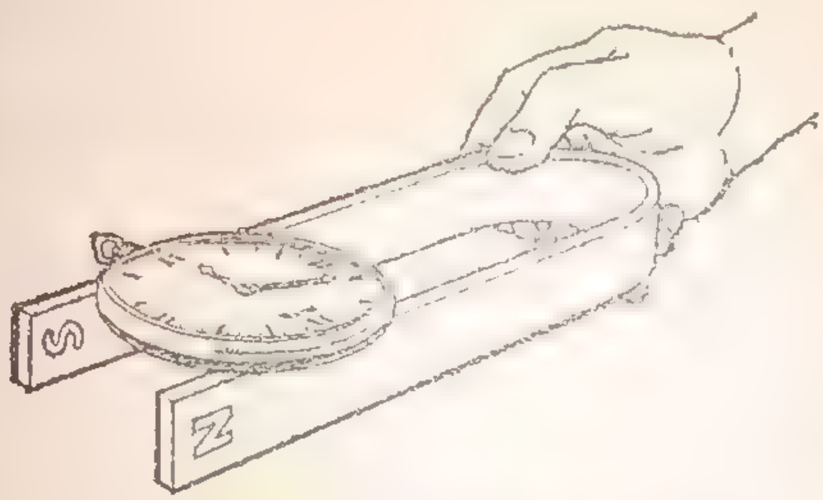


Рис. 98. Что предохраняет стальной механизм часов от намагничивания?

часы потребуют самой радикальной починки, замены многих частей механизма новыми. Поэтому с золотыми часами не следует делать подобного опыта,— он обойдется чересчур дорого [9]).

Напротив, с часами, механизм которых плотно закрыт железными или стальными крышками, вы можете смело произвести этот опыт,— магнитные силы через железо и сталь не проникают. Подвесьте такие часы к обмоткам сильнейшей динамо,— верность хода не пострадает ни в малейшей степени. Для электротехников такие железные часы являются идеальными, тогда как золотые или серебряные скоро приходят в негодность от воздействия магнитов.

Магнитный «вечный» двигатель

В истории попыток изобрести «вечный» двигатель магнит сыграл не последнюю роль. Неудачники-изобретатели на разные лады старались использовать магнит, чтобы устроить механизм, который вечно двигался бы сам собой. Вот один из проектов подобного «механизма» (описанный

*) Если только этот волосок не сделан из особого сплава *никвара* — металла, не способного намагничиваться, хотя в состав его и входят железо и никель.

XVII веке англичанином Джоном Вилкенсом, епископом в Честере).

Сильный магнит A помещается на колонке (рис. 99). К ней прислонены два наклонных желоба M и N, один под другим, причем верхний M имеет небольшое отверстие C в верхней части, а нижний N изогнут. Если,— рассуждал изобретатель,— на верхний желоб положить небольшой железный шарик в точке B, то вследствие притяжения магнитом A шарик покатится вверх; однако, дойдя до отверстия, он провалится в нижний желоб N, покатится по нему вниз, поднимется по закруглению D этого желоба и попадет на верхний желоб M; отсюда, притягиваемый магнитом, он снова покатится вверх, снова провалится через отверстие, вновь покатится вниз и опять окажется на верхнем желобе, чтобы начать движение сначала. Таким образом, шарик безостановочно будет бегать взад и вперед, осуществляя «вечное движение».

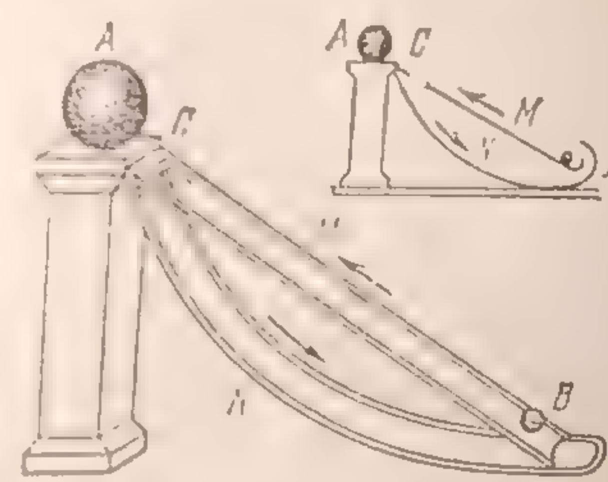


Рис. 99. Мнимый вечный двигатель.

В чем абсурдность этого изобретения?

Указать ее нетрудно. Почему изобретатель думал, что шарик, скатившись по желобу N до его нижнего конца, будет еще обладать скоростью, достаточной для поднятия его вверх по закруглению D? Так было бы, если бы шарик катился под действием одной лишь силы тяжести: тогда он катился бы ускоренно. Но наш шарик находится под действием двух сил: тяжести и магнитного притяжения. Последнее по предположению настолько значительно, что может заставить шарик подняться от точки B до C. Поэтому по желобу N шарик будет скатываться не ускоренно, а замедленно, и если даже достигнет нижнего конца, то во всяком случае не накопит скорости, необходимой для поднятия по закруглению D.

Описанный проект много раз вновь всплывал впоследствии во всевозможных видоизменениях. Один из подобных проектов был даже, как ни странно, запатентован в Германии в 1878 г., т. е. тридцать лет спустя после провозглашения закона сохранения энергии! Изобретатель так замаскировал нелепую основную идею своего магнитного «вечного» двигателя, что ввел в заблуждение техническую комиссию,

выдающую патенты. И хотя, согласно уставу, патенты на изобретения, идея которых противоречит законам природы, не должны выдаваться, изобретение на этот раз было формально запатентовано. Вероятно, счастливый обладатель этого единственного в своем роде патента скоро разочаровался в своем детище, так как уже через два года перестал вносить пошлину, и курьезный патент потерял законную силу: «изобретение» стало всеобщим достоянием.

Музейная задача

В практике музейного дела нередко возникает надобность читать древние свитки, настолько ветхие, что они ломаются и рвутся при самой осторожной попытке отделить один слой рукописи от соседнего.

Как разъединить такие листы?

При Академии наук СССР имеется лаборатория реставрации (восстановления) документов, которой и приходится разрешать подобные задачи. В указанном сейчас случае лаборатория справляется с задачей, прибегнув к услугам электричества. Свиток электризуется; соседние его части, получающие одноименный заряд, отталкиваются друг от друга и [illegible], без повреждения разделяются. Такой отпрепарированный свиток уже сравнительно нетрудно умелыми руками развернуть и наклеить на плотную бумагу.

Еще воображаемый вечный двигатель

Большую популярность среди искателей вечного двигателя получила идея соединения динамомашины с электромотором. Все подобные проекты сводятся к следующему. Надо шкивы электромотора и динамомашины соединить приводным ремнем, а провода от динамомашины подвести к электромотору. Если динамомашине дать первоначальный импульс, то порождаемый ею ток, поступая в электромотор, приведет его в движение, энергия же движения электромотора будет передаваться ремнем шкиву динамомашины и приведет ее в движение. Таким образом, — полагают изобретатели, — машины станут двигать одна другую, и движение это никогда не прекратится, пока обе машины не износятся.

Идея эта представляется изобретателям чрезвычайно заманчивой; однако те, кто пытался ее осуществить на практике, с удивлением убеждались, что ни одна из

двух машин при таких условиях не работает. Ничего иного от этого проекта и ожидать не следовало. Даже если бы каждая из соединенных машин обладала стопроцентным коэффициентом полезного действия, мы могли бы заставить их указанным образом безостановочно двигаться только при полном отсутствии трения. Соединение названных машин (их «агрегат») представляет собой, в сущности, одну машину, которая должна сама себя приводить в движение. При отсутствии трения агрегат, как и любой шкив, двигался бы вечно, но пользы от такого движения нельзя было бы извлечь никакой: стоило бы заставить «двигатель» совершать внешнюю работу, и он немедленно останов[illegible]. Перед нами было бы «вечное движение», но не [illegible] двигатель». При наличии же трения агрегат не двигался бы вовсе.

Странно, [illegible], которых увлекает эта идея, не приходит в [illegible] более простое осуществление той же замысли: соедин[illegible] ремнем два каких-нибудь шкива и вертеть один [illegible]. Руководствуясь той же логикой, что и в случае предыдущего сочетания машин, мы должны ожидать, что первый шкив приведет во вращение второй, а от второго будет вращаться первый. Можно обойтись и одним шкивом: завертим его — правая часть станет увлекать во вращение левую, левая же при движении будет поддерживать вращение правой. В последних двух случаях нелепость слишком очевидна, и потому подобные проекты никого не вдохновляют. Но, по существу, все три описанных «вечных двигателя» исходят из одного и того же заблуждения.

Почти вечный двигатель

Для строгого математика выражение «почти вечный» не представляет ничего заманчивого. Движение может быть либо вечным, либо невечным; «почти вечное» значит, в сущности, *невечное*.

Но для практической жизни это не так. Многие, вероятно, были бы вполне удовлетворены, если бы получили в свое распоряжение не совсем вечный двигатель, а «почти вечный», способный двигаться хотя бы, например, тысячу лет. Жизнь человека коротка, и тысячелетие для нас то же, что вечность. Люди практической складки, наверное, сочли бы, что проблема вечного двигателя решена и что больше не над чем ломать голову.

Таких людей можно обрадовать сообщением, что тысячелетний двигатель уже изобретен; каждый может при известной затрате средств иметь у себя подобие такого «вечного двигателя». Патент на это изобретение никем не взят, и секрета он не представляет. Устройство прибора, придуманного Стреттом в 1903 г. и обычно называемого «радиевыми часами», весьма несложно (рис. 100).

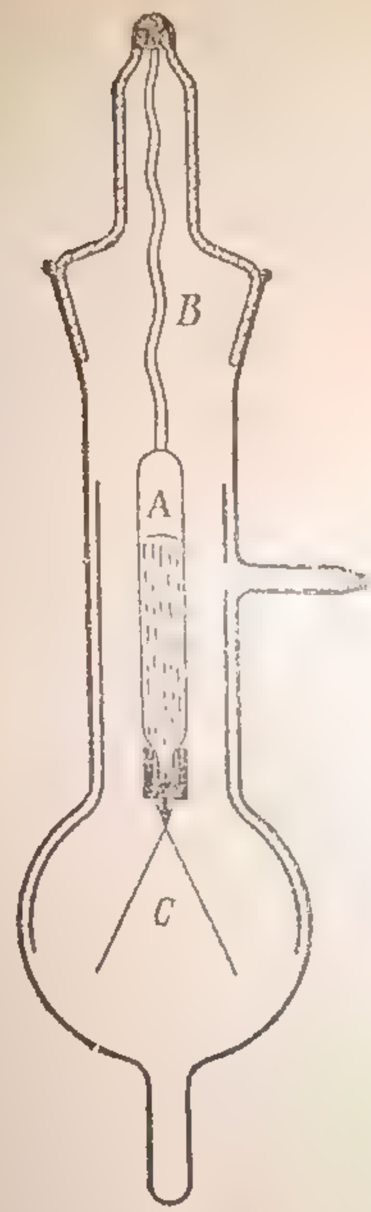


Рис. 100. Радиевые часы с «почти вечным» заводом на 1600 лет.

Внутри стеклянного баллона, из которого выкачан воздух, подвешена на кварцевой нити B (не проводящей электричества) небольшая стеклянная трубочка A, заключающая в себе несколько тысячных долей грамма *радиевой соли*. К концу трубочки подвешены, как в электроскопе, два золотых листочка. Радий, как известно, испускает лучи трех родов: альфа, бе́та и гамма. В данном случае основную роль играют легко проходящие через стекло бета-лучи, которые состоят из потока отрицательно заряженных частиц (электронов). Разбрасываемые радием во все стороны частицы уносят с собой *отрицательный* заряд, а потому сама трубка с радием постепенно заряжается *положительно*. Этот положительный заряд переходит на золотые листочки C и заставляет их раздвигаться.

Раздвинувшись, листочки прикасаются к стенкам баллона, теряют здесь свой заряд (в соответствующих местах стенок приклеены полоски фольги, по которым электричество уходит) и вновь смыкаются. Вскоре накопляется новый заряд, листочки вновь расходятся, опять отдают заряд стенкам и смыкаются, чтобы вновь наэлектризоваться. Каждые две-три минуты совершается одно колебание золотых листочков, с регулярностью часового маятника,— отсюда и название «радиевые часы». Это будет длиться целые годы, десятилетия, столетия, пока будет продолжаться испускание радием его лучей.

Читатель видит, конечно, что перед ним отнюдь не «вечный», а только даровой двигатель.

Долго ли радий испускает свои лучи?

Установлено, что уже через 1600 лет способность радия испускать лучи ослабнет вдвое. Поэтому радиевые часы будут идти безостановочно не менее тысячи лет, постепенно уменьшая лишь частоту своих колебаний, вследствие ослабления электрического заряда. Если бы в эпоху начала Руси созданы были такие радиевые часы, они действовали бы еще в наше время!

Можно ли использовать этот даровой двигатель для каких-нибудь практических целей? К сожалению, нет. Мощность этого двигателя, т. е. количество работы, совершаемой им в единицу времени, так ничтожна, что никакой механизм не может приводиться им в действие. Чтобы достичь сколько-нибудь осязаемых результатов, необходимо располагать гораздо бо́льшим запасом радия. Если вспомним, что радий — чрезвычайно редкий и дорогой элемент, то согласимся, что даровой двигатель подобного рода оказался бы чересчур расточительным.

Птицы на проводах

Все знают, как опасно для человека прикосновение к электрическим проводам трамвая или высоковольтной сети, когда они под напряжением. Такое прикосновение

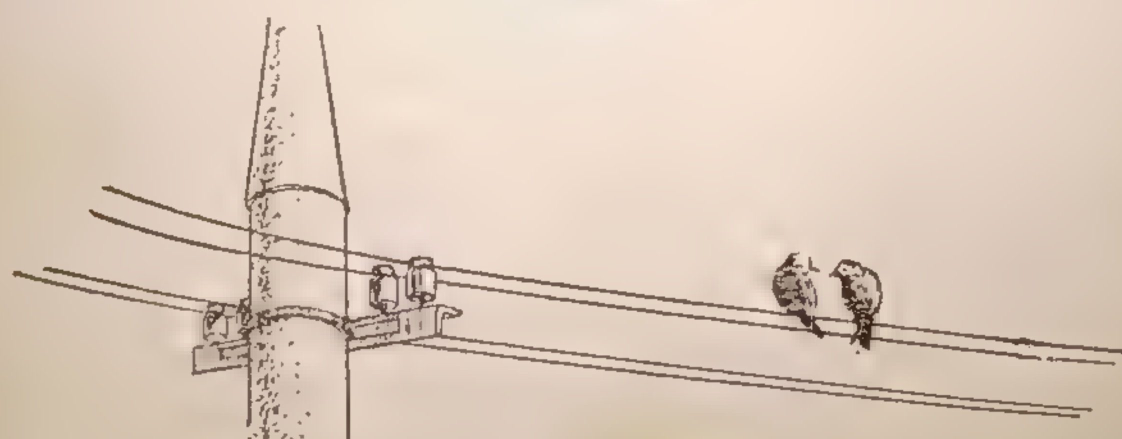


Рис. 101. Птицы безнаказанно садятся на электрические провода. Почему?

смертельно для человека и для крупных животных. Известно много случаев, когда лошадь или корову убивает током, если их задевает оборвавшийся провод.

Чем же объяснить то, что птицы спокойно и совершенно безнаказанно усаживаются на провода? Подобные картинки можно часто наблюдать в городах (рис. 101).

Чтобы понять причину подобных противоречий, примем во внимание следующее: тело сидящей на проводе птицы представляет собой как бы ответвление цепи, сопро-

тивление которого по сравнению с другой ветвью (короткого участка между ногами птицы) огромно. Поэтому сила тока в этой ветви (в теле птицы) ничтожна и безвредна. Но если бы птица, сидя на проводе, коснулась столба крылом, хвостом или клювом — вообще каким-нибудь образом соединилась с землей, — она была бы мгновенно убита током, который устремился бы через ее тело в землю. Это нередко и наблюдается.

[illegible] привычку, усевшись на кронштейн линии высоко[illegible], чистить клюв о токонесущий провод. Так как кронштейн не изолирован от земли, то прикосновение заземленной птицы к проводу, находящемуся под током, неизбежно кончается гибелью. Насколько подобные случаи многочисленны, видно хотя бы из того, что в некоторых странах в свое время принимали особые меры, чтобы оградить птиц от гибели. С этой [illegible] на кронштейнах линий высоковольтной передачи устанавливали изолированные насесты, на которых птица могла бы не только сидеть, но и безнаказанно чистить о провод свой клюв (рис. 102). В других случаях опасные места делают с помощью особых приспособлений недоступными для прикосновения птиц.



Рис. 102. [illegible]

При том широком развитии, которое получает в СССР растущая сеть высоковольтных передач, нам следует в интересах лесоводства и земледелия позаботиться об ограждении пернатого населения от истребления электрическим током.

При свете молнии

Случалось ли вам во время грозы наблюдать картину оживленной городской улицы при кратких вспышках молнии? Вы, конечно, заметили при этом одну странную особенность: улица, только что полная движения, кажется в такие мгновения словно застывшей. Лошади останавливаются в напряженных позах, держа ноги в воздухе; экипажи также неподвижны: отчетливо видна каждая спица колеса...

Причина кажущейся неподвижности заключается в ничтожной продолжительности молнии. Молния, как и

всякая электрическая искра, длится чрезвычайно малый промежуток времени — настолько малый, что его даже нельзя измерить обычными средствами. При помощи косвенных приемов удалось, однако, установить, что молния длится иногда лишь тысячные доли секунды [10]. За столь короткие промежутки времени мало что успевает переместиться заметным для глаза образом. Неудивительно поэтому, что улица, полная разнообразных движений, представляется при свете молнии совершенно неподвижной: ведь мы замечаем на ней только то, что длится тысячные доли секунды! Каждая спица в колесах быстро движущегося экипажа успевает переместиться лишь на ничтожную долю миллиметра; для глаза это все равно, что полная неподвижность.

Сколько стоит молния?

В ту отдаленную эпоху, когда молнии приписывали богам, подобный вопрос звучал бы кощунственно. Но в наши дни, когда электрическая энергия сделалась в товар, который измеряют и оценивают, как и всякий другой, вопрос о том, какова стоимость молнии, вовсе не должен казаться бессмысленным. Задача состоит в том, чтобы учесть электрическую энергию, потребную для грозового разряда, и оценить ее хотя бы по таксе электрического освещения.

Вот расчет. Потенциал грозового облака равен примерно 50 млн. вольт. Максимальная сила тока оценивается при этом в 200 тыс. ампер. (Ее определяют, заметим кстати, по степени намагничивания стального стержня тем током, который пробегает в его обмотке при ударе молнии в громоотвод.) Мощность в ваттах получим перемножением числа вольт на число ампер; при этом, однако, надо учесть то, что, пока длится разряд, потенциал падает до нуля; поэтому при вычислении мощности разряда надо взять средний потенциал, иначе говоря — половину начального потенциала. Имеем

$$\text{мощность разряда} = \frac{(5\cdot10^{7}\,\text{В})\cdot(2\cdot10^{5}\,\text{А})}{2} = 5\cdot10^{12}\,\text{Вт},$$

т. е. 5 млрд. киловатт.

Получив столь внушительную мощность, естественно ожидаешь, что и денежная стоимость молнии выражается огромной цифрой. Однако, чтобы получить энергию в

киловатт-часах (ту, которая фигурирует в счетах за электрическое освещение), необходимо учесть время. Отдача столь значительной мощности длится около тысячной доли секунды. За это время израсходуется

$$\text{энергия} = \frac{5\cdot 10^9\ \text{кВт}\cdot\text{ч}}{3600\cdot 1000} \approx 1400\ \text{кВт}\cdot\text{ч}.$$

Один киловатт-час по тарифу обходится потребителю электрического тока в 4 копейки. Отсюда нетрудно вычислить денежную стоимость молнии:

$$4\ \text{коп.}\cdot 1400 = 5600\ \text{коп.} = 56\ \text{руб.}$$

Результат поразительный: молния, энергия которой раз в сто больше энергии выстрела тяжелого артиллерийского орудия, должна была бы стоить, по тарифу электростанции, всего лишь 56 рублей!

Интересно, насколько современная электротехника приблизилась к возможности воспроизвести молнию. В лабораториях достигнуто напряжение до 10 млн. вольт и получена искра длиной в 15 м. Дистанция не очень значительная...

Грозовой ливень в комнате

Очень легко устроить дома небольшой фонтан из резиновой трубки, один конец которой погружают в ведро, поставленное на возвышении, или надевают на водопроводный кран. Выходное отверстие трубки должно быть очень мало, для того чтобы фонтан разбивался тонкими струйками; проще всего достигнуть этого, вставив в свободный конец трубки кусочек карандаша, из которого вынут графит. Ради удобства обращения с фонтаном этот свободный конец укрепляют в перевернутой воронке (рис. 103) [11].

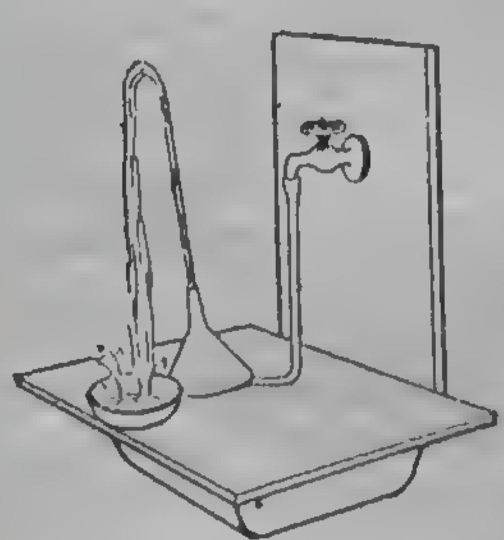


Рис. 103. Грозовой ливень в миниатюре.

Пустив такой фонтан высотой в полметра и направив струю вертикально вверх, приблизьте к нему натертую сукном палочку сургуча или эбонитовый гребень. Вы тотчас увидите довольно неожиданную вещь: отдельные струйки ниспадающей части фонтана сольются в одну сплошную струю, ко-

торая с заметным шумом ударяет о дно подставленной тарелки. Звук напоминает характерный шум грозового ливня. «Не подлежит сомнению,—замечает по этому поводу физик Бойс,— что именно по этой причине капли дождя во время грозы отличаются такой величиной». Удалите сургуч,— и фонтан тотчас же снова распылится, а характерный стук сменится мягким шумом раздробленной струи.

Перед непосвященными вы можете действовать палочкой сургуча, как фокусник «волшебным» жезлом.

Объяснение столь неожиданного действия электрического заряда на фонтан основано на том, что капли электризуются через влияние, причем обращенные к сургучу части капель электризуются положительно, противоположные — отрицательно; таким образом, разноименно наэлектризованные части капель оказываются в близком соседстве и, притягиваясь, заставляют капли сливаться.

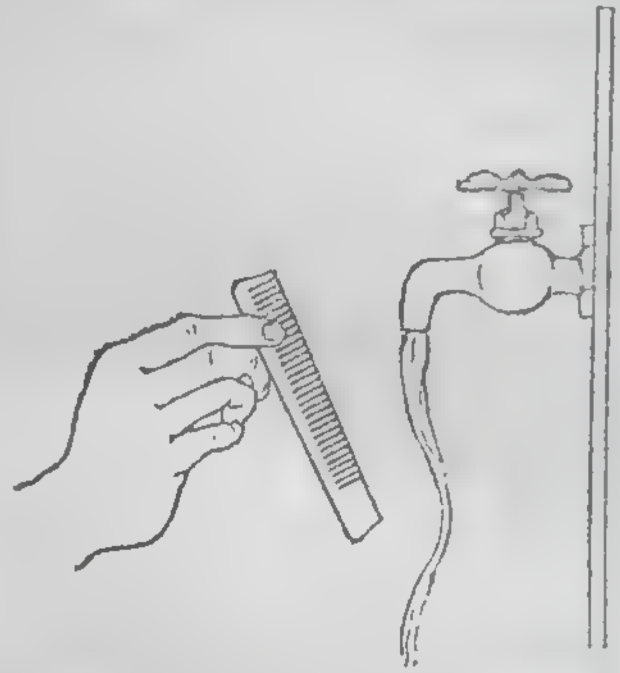


Рис. 104. Водяная струя отклоняется при приближении наэлектризованного гребня.

Действие электричества на водяную струю вы можете обнаружить и проще; достаточно приблизить проведенный по волосам эбонитовый гребень к тонкой струе воды, вытекающей из водопроводного крана: струя становится сплошной и заметно искривляется по направлению к гребню, резко отклонившись в сторону (рис. 104). Объяснение этого явления сложнее, чем предыдущего; оно связано с изменением поверхностного натяжения под действием электрического заряда.

Заметим между прочим, что легкостью, с какой образуется электрический заряд при трении, объясняется и электризация передаточных ремней, трущихся о шкивы. Выделяющиеся электрические искры представляют на некоторых производствах серьезную опасность в пожарном отношении. Чтобы этого избежать, серебрят передаточные ремни: тонкий слой серебра делает ремень проводником электричества, и накопление заряда становится невозможным [12]).

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

ОТРАЖЕНИЕ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА. ЗРЕНИЕ

Пятикратный снимок

Одним из курьезов фотографического искусства являются снимки, на которых фотографируемый изображен в пяти различных поворотах. На рис. 105, воспроизведенном с подобной фотографии, можно видеть эти пять

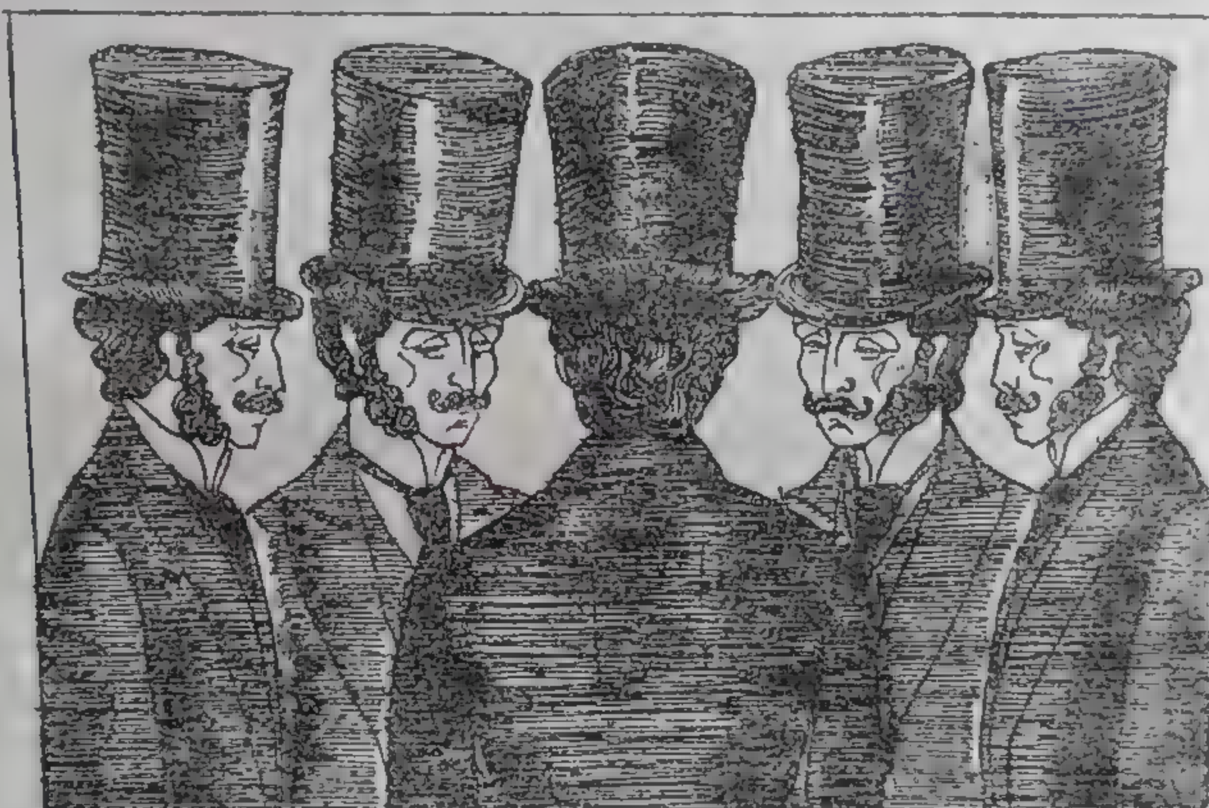


Рис. 105. Пятикратная фотография одного и того же лица.

положений. Такие фотографии имеют то несомненное преимущество перед обыкновенными, что дают более полное представление о характерных особенностях оригинала: известно, как много заботятся фотографы о том, чтобы придать лицу снимаемого наиболее выгодный поворот; здесь же сразу получается лицо в нескольких поворотах, среди которых больше возможности уловить самый характерный.

Как получаются эти фотографии? Конечно, с помощью зеркал (рис. 106). Фотографируемый садится спиной к ап-

парату *A* и лицом к двум отвесным плоским зеркалам *C*, сходящимся под углом в одну пятую долю от 360°, т. е. в 72°. Такая пара зеркал должна давать четыре изображения, повернутые различным образом по отношению к аппарату. Эти изображения плюс натуральный объект и фотографируются аппаратом, причем сами зеркала (не имеющие рам) на снимке, конечно, не получаются. Чтобы в зеркалах не отразился фотографический аппарат,

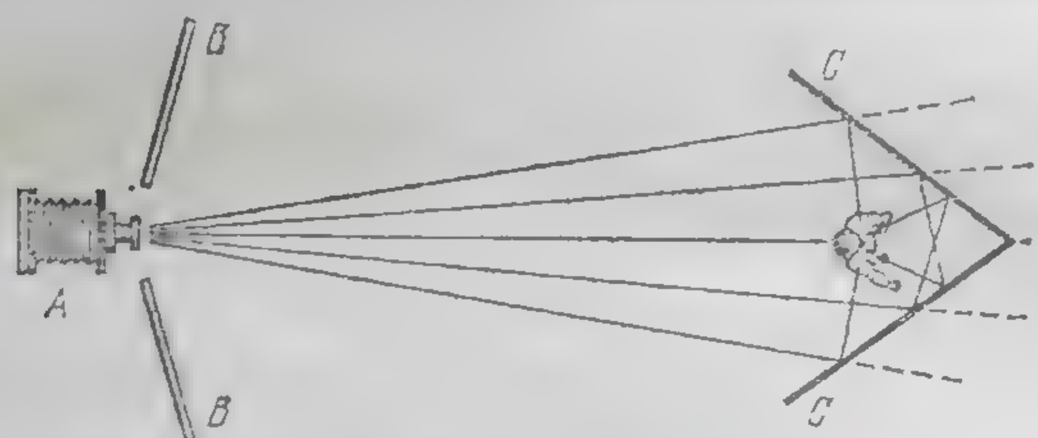


Рис. 106. Способ получения пятикратных фотографий: снимаемый помещается между зеркалами *CC*.

его заслоняют двумя экранами (*BB*) с небольшой щелью для объектива.

Число изображений зависит от угла между зеркалами: чем он меньше, тем число получающихся изображений больше. При угле 360°/4=90° мы получили бы четыре изображения, при угле 360°/6=60° — шесть изображений, при 360°/8=45° — восемь, и т. д. Однако при большом числе отражений изображения тусклы и слабы; поэтому обычно ограничиваются пятикратными снимками [1]).

Солнечные двигатели и нагреватели

Очень заманчива мысль использовать энергию солнечных лучей для нагревания котла двигателя. Произведем несложный расчет. Энергия, в единицу времени получаемая от Солнца каждой единицей поверхности внешней части нашей атмосферы, расположенной под прямым углом к солнечным лучам, тщательно подсчитана. Количество ее, по-видимому, неизменно: оттого оно и названо «солнечной постоянной». Солнечная постоянная равна (с округлением) 1,4 кВт/м². Этот тепловой поток, регулярно посылаемый Солнцем, достигает поверхности Земли не полностью: около 25% его поглощается в атмосфере. Можно считать, что квадратный метр земной поверхности,

перпендикулярно озаряемый солнечными лучами, получает ежесекундно около 1 кДж энергии.

Такую работу могла бы произвести лучистая энергия Солнца при самых благоприятных условиях — при перпендикулярном падении и стопроцентном превращении. Однако до сих пор осуществлявшиеся попытки прямого использования Солнца как двигательной силы были далеки от таких идеальных условий: их полезное действие

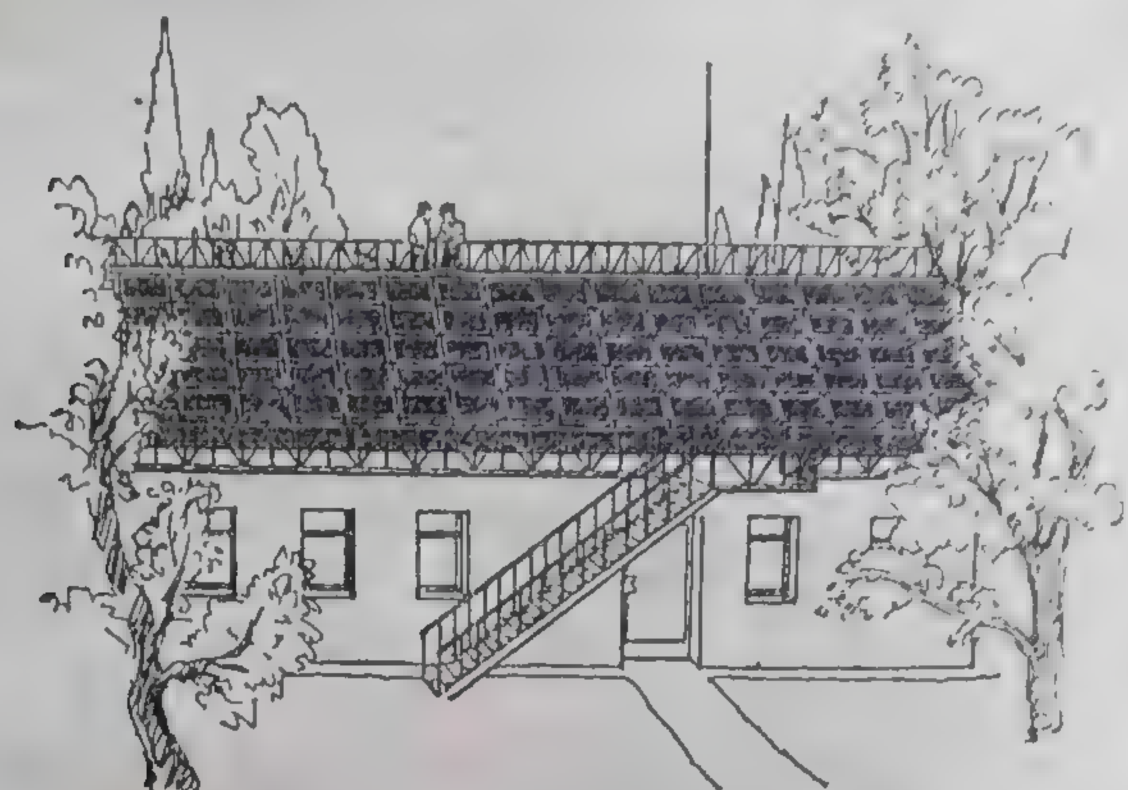


Рис. 107. Солнечная водонагревательная установка в Ташкенте.

не превышало 5—6%. Из осуществленных установок наибольший коэффициент полезного действия имел солнечный двигатель известного физика Аббота: 15% [2]).

Легче воспользоваться лучистой энергией Солнца не для получения механической работы, а для нагревания. В Ташкенте в начале 30-х годов открылась солнечная баня, пропускавшая 70 человек в сутки. В том же Ташкенте была оборудована гелиоустановка на крыше одного из домов (рис. 107). Здесь было установлено 20 солнечных котлов на 200 ведер воды, которые целиком обеспечивали ею весь дом. По заявлению гелиотехников, солнце бесперебойно согревало котлы 7—8 месяцев в году; остальные 4—5 месяцев котлы могли нагревать воду только в ясные дни [3]). Средний к. п. д. водонагревателей был сравнительно высок — он составлял 47% (максимальный достигал 61%).

В Туркмении был испытан солнечный холодильник (рис. 108). Температура охлаждающих батарей в камерах

холодильника была −3 °С при температуре окружающего воздуха 42 °С в тени. Это первый пример промышленной солнечной холодильной установки.

Отличные результаты дали опыты солнечной плавки серы (температура плавления 120 °С)[4]. Упомянем еще о солнечных опреснителях для получения пресной воды на побережье Каспийского и Аральского морей, о солнечных водоподъемниках для замены первобытных среднеазиатских чигирей, о солнечных сушилках для фруктов

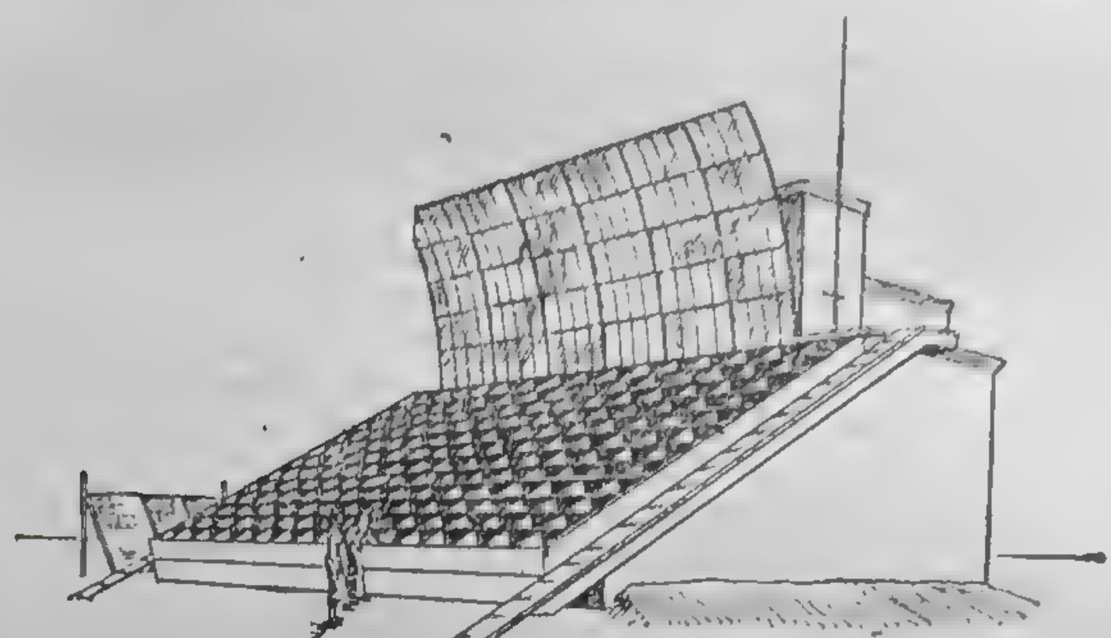


Рис. 108. Солнечный склад-холодильник в Туркменской ССР.

и рыбы, о кухне, где все блюда приготовляются «на лучах Солнца», и т. п. Все это не исчерпывает разнообразных применений искусственно уловленных солнечных лучей, которым предстоит сыграть видную роль в народном хозяйстве Средней Азии, Кавказа, Крыма, Нижней Волги и южной Украины.

Мечта о шапке-невидимке

Седой древностью оставлена нам легенда о чудесной шапке, которая делает невидимым каждого, кто ее наденет. Пушкин, ожививший в «Руслане и Людмиле» преданья старины глубокой, дал классическое описание волшебных свойств шапки-невидимки:

И девице пришло на ум,
В волненьи своенравных дум,
Примерить шапку Черномора...
Людмила шапкой завертела;
На брови, прямо, набекрень,
И задом наперед надела.
И что ж? О, чудо старых дней!
Людмила в зеркале пропала;

Перевернула — перед ней
Людмила прежняя предстала;
Назад надела — снова нет;
Сняла — и в зеркале! «Прекрасно!
Добро, колдун! Добро, мой свет!
Теперь мне здесь уж безопасно»...

Способность становиться невидимой была единственной защитой для пленной Людмилы. Под надежным покровом невидимости она ускользала от пристальных взоров своих стражей. О присутствии незримой пленницы могли догадываться только по ее действиям:

Везде всечасно замечали
Ее минутные следы:
То позлащенные плоды
На шумных ветвях исчезали,
То капли ключевой воды
На луг измятый упадали:
Тогда наверно в замке знали,
Что пьет иль кушает княжна...
Едва редела ночи мгла,—
Людмила к водопаду шла
Умыться хладною струею.
Сам Карла утренней порою
Однажды видел из палат,
Как под невидимой рукою
Плескал и брызгал водопад.

Давно уже осуществлены многие заманчивые мечты древности; немало сказочных волшебств сделалось достоянием науки. Пробуравливаются горы, улавливаются молнии, летают на коврах-самолетах... Нельзя ли изобрести и «шапку-невидимку», т. е. найти средство сделать себя совершенно невидимым? Об этом мы сейчас побеседуем.

Невидимый человек

В романе «Человек-невидимка» английский писатель Уэллс стремится убедить своих читателей, что возможность стать невидимым вполне осуществима. Его герой (автор романа представляет его нам как «гениальнейшего физика, какого когда-либо видел мир») открыл способ делать человеческое тело невидимым. Вот как излагает он знакомому врачу основания своего открытия:

«Видимость зависит от действия видимых тел на свет. Вы знаете, что тела или поглощают свет, или отражают его, или преломляют. Если тело не поглощает, не отражает и не преломляет света, оно не может быть видимо само по себе. Видишь, например, непрозрачный красный ящик потому, что краска поглощает некоторую

долю света и отражает (рассеивает) остальные лучи. Если бы ящик не поглощал никакой доли света, а отражал его весь, он казался бы блестящим белым ящиком, серебряным. Бриллиантовый ящик поглощал бы мало света, общая его поверхность отражала бы его также немного; только местами, на ребрах, свет отражался бы и преломлялся, давая нам блестящую видимость сверкающих отражений — нечто вроде светового скелета. Стеклянный ящик блестел бы меньше, был бы не так отчетливо виден, как бриллиантовый, потому что в нем было бы меньше отражений и меньше преломлений. Если же положить кусок обыкновенного белого стекла в воду и, тем более, если положить его в какую-нибудь жидкость плотнее воды, он исчезнет почти совершенно, потому что свет, попадающий сквозь воду на стекло, преломляется и отражается очень слабо. Стекло становится столь же невидимым, как струя углекислоты или водорода в воздухе, по той же самой причине.

— Да,— сказал Кемп (врач.— *Я. П.*),— все это очень просто и в наше время известно каждому школьнику.

— А вот и еще факт, также известный каждому школьнику. Если кусок стекла растолочь и превратить в порошок, он становится гораздо более заметным в воздухе,— он становится непрозрачным белым порошком. Происходит это потому, что толчение умножает грани стекла, производящие отражение и преломление. У пластинки только две грани, а в порошке свет отражается и преломляется каждой крупинкой, через которую проходит, и *сквозь* порошок его проникает очень мало. Но если белое толченое стекло положить в воду,— оно сразу исчезает. Толченое стекло и вода имеют приблизительно одинаковый показатель преломления, так что, переходя от одного к другому, свет преломляется и отражается очень мало.

Положив стекло в какую-нибудь жидкость с почти одинаковым показателем преломления, вы делаете его невидимым: *всякая прозрачная вещь становится невидимой, если ее поместить в среду с одинаковым с ней показателем преломления.* Достаточно подумать самую малость, чтобы убедиться, что стекло можно сделать невидимым и в воздухе: надо устроить так, чтобы его показатель преломления равнялся показателю преломления воздуха,— потому что тогда, переходя от стекла к воздуху, свет не будет ни отражаться, ни преломляться вовсе *).

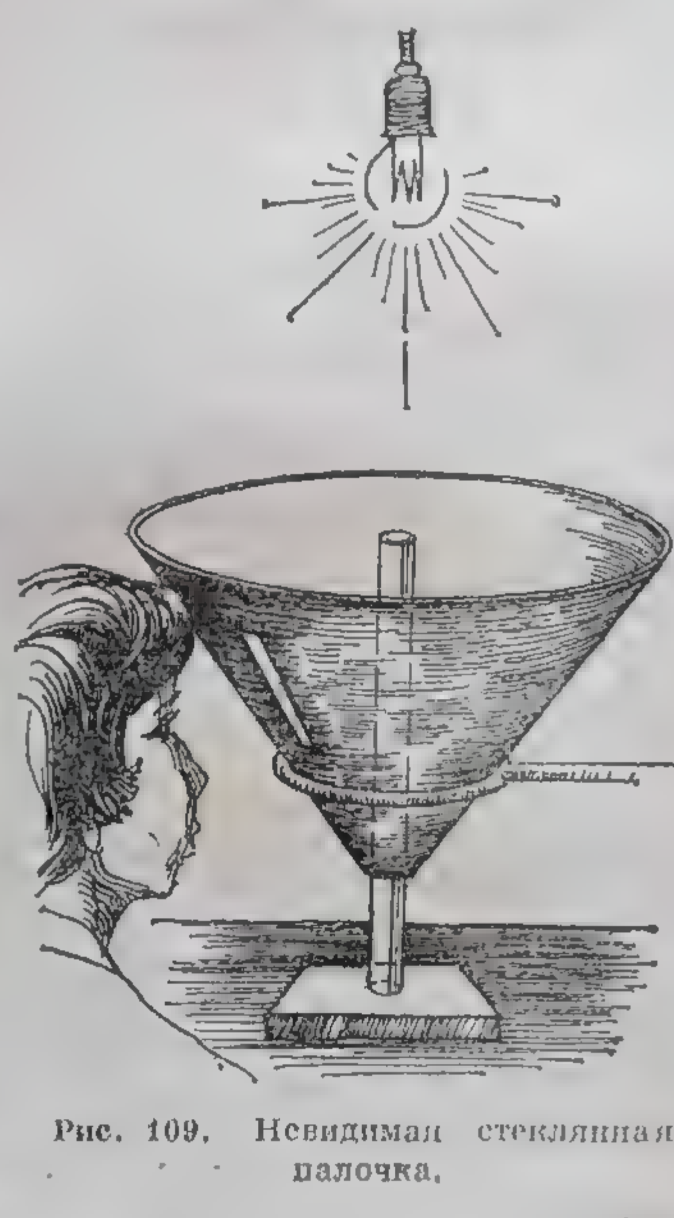


Рис. 109. Невидимая стеклянная палочка.

*) Полной невидимости совершенно прозрачного предмета мы можем добиться, если окружим его стенками, рассеивающими свет строго равномерно. Глаз, который смотрит внутрь через небольшое боковое отверстие, получит тогда

— Да, да, — сказал Кемп. — Но ведь человек — не то, что стекло.

— Нет, он прозрачнее.

— Вздор!

— И это говорит естественник! Неужели за десять лет вы успели совсем забыть физику? Бумага, например, состоит из прозрачных волоконец, она бела и непроницаема лишь потому же, почему бел и непроницаем стеклянный порошок. Намаслите белую бумагу, наполните маслом промежутки между волоконцами так, чтобы преломление и отражение происходили только на поверхностях, — и бумага станет прозрачной, как стекло. И не только бумага, но и волокна полотна, волокна шерсти, волокна дерева, наши кости, мускулы, волосы, ногти и нервы! Словом, весь состав человека, кроме красного вещества в его крови и темного пигмента волос, — все состоит из прозрачной, бесцветной ткани; вот как немногое делает нас невидимыми друг другу!»

Подтверждением этих соображений может служить тот факт, что не покрытые шерстью животные-альбиносы (ткани которых не содержат красящих веществ) отличаются в значительной мере прозрачностью. Зоолог, нашедший летом 1934 г. в Детском Селе экземпляр белой лягушки-альбиноса, описывал ее так: «Тонкие кожные и мышечные ткани просвечивают: видны внутренности, скелет... Очень хорошо у лягушки-альбиноса видно через брюшную стенку сокращение сердца и кишок».

Герой романа Уэллса изобрел способ делать прозрачными ткани человеческого организма и даже его красящие вещества (пигменты). Он с успехом применил свое откры-

---

от всех точек предмета как раз столько света, как если бы предмета вовсе не существовало: никакие блики или тени не обнаружат его присутствия.

Вот как может быть обставлен подобный опыт. Воронку, диаметром в полметра, из белого картона устанавливают, как показано на рис. 109, на некотором расстоянии от 25-свечовой электрической лампочки. Снизу вводят стеклянную палочку, по возможности строго вертикально. Малейшее отклонение от вертикального положения делает то, что палочка кажется темной по оси и светлой по краям либо же, наоборот, светлой по оси и темной по краям. Обе картины освещения переходят одна в другую при легком изменении положения палочки. После ряда проб можно добиться совершенно равномерного освещения палочки, — и тогда она для глаза, смотрящего сквозь узкое (не шире 1 см) боковое отверстие, *исчезает совершенно*. При такой обстановке опыта достигается полная невидимость стеклянного предмета, несмотря на то, что его преломляющая способность сильно отличается от преломляющей способности воздуха.

Другой прием, с помощью которого можно сделать невидимым, например, кусок граненого стекла, состоит в том, чтобы поместить его в ящик, покрытый изнутри светящейся краской. — *Я. П.*

тие к собственному телу. Опыт удался блестяще, — изобретатель стал совершенно невидимым. О дальнейшей судьбе этого невидимого человека мы сейчас узнаем.

Могущество невидимого

Автор романа «Человек-невидимка» с необыкновенным остроумием и последовательностью доказывает, что человек, сделавшись прозрачным и невидимым, приобретает благодаря этому почти безграничное могущество. Он может незаметно проникать в любое помещение и безнаказанно похищать любые вещи; неуловимый, благодаря своей невидимости, он успешно борется с целой толпой вооруженных людей. Угрожая всем видимым людям неизбежной тяжкой карой, невидимый человек держит в полном подчинении население целого города. Неуловимый и неуязвимый, он в то же время имеет полную возможность вредить всем остальным людям; как бы ни ухитрялись они защищаться, невидимый враг рано или поздно настигает их и поражает. Столь исключительное положение среди прочих людей дает герою английского романа возможность обращаться к устрашенному населению своего города с приказами, например, такого содержания:

«Город отныне уже не под властью королевы! Скажите это вашему полковнику, полиции и всем; он под моей властью! Нынешний день — первое число первого года новой эры, эры Невидимого! Я — Невидимый Первый. Сначала правление мое будет милостиво. В первый день будет всего одна казнь, ради примера, казнь человека, имя которого Кемп. Сегодня же его постигнет смерть. Пусть запирается, пусть прячется, пусть окружит себя стражей, пусть закует себя в броню, — смерть, невидимая смерть идет к нему! Пусть принимает меры предосторожности, — это произведет впечатление на мой народ. Смерть идет к нему! Не помогай ему, народ мой, чтобы и тебя не постигла смерть».

И на первых порах невидимый человек торжествует. Лишь с величайшим трудом удается запуганному населению справиться с невидимым врагом, мечтавшим сделаться его властелином.

Прозрачные препараты

Верны ли физические рассуждения, которые положены в основу этого фантастического романа? Безусловно. Всякий прозрачный предмет в прозрачной среде становится невидимым уже тогда, когда разница в показателях пре-

[illegible]. Спустя десять лет после того, как английский романист написал своего «Невидимку», немецкий анатом Шпальтегольц осуществил его идею — правда, не для живых организмов, а для мертвых препаратов. Можно видеть теперь эти прозрачные препараты частей тела, даже целых животных, во многих музеях.

Способ приготовления прозрачных препаратов, разработанный (в 1911 г.) Шпальтегольцем, состоит в том, что после известной обработки — беления и промывания — препарат пропитывается метиловым эфиром салициловой кислоты (это бесцветная жидкость, обладающая сильным лучепреломлением). Приготовленный таким образом препарат погружают в сосуд, наполненный той же жидкостью.

При этом, разумеется, не стремятся достичь *полной* прозрачности препаратов, так как в таком случае они стали бы совершенно невидимыми, а потому и бесполезными для анатома. Но при желании возможно было бы достичь и этого.

Конечно, отсюда еще далеко до осуществления уэллсовой утопии о *живом* человеке, прозрачным настолько, что он совершенно невидим. Далеко потому, что надо еще, во-первых, найти способ пропитать просветляющей жидкостью ткани *живого* организма, не нарушая его отправлений.

Во-вторых, препараты Шпальтегольца только прозрачны, но не невидимы; ткани этих препаратов могут быть невидимы лишь до тех пор, пока они погружены в сосуд с жидкостью соответствующей преломляемости. Они будут невидимы в воздухе только тогда, когда показатель их преломления будет равняться показателю преломления *воздуха*, а как этого достигнуть, мы еще не знаем.

Но допустим, что удастся со временем добиться того и другого, а следовательно, осуществить на деле мечту английского романиста.

В романе все предусмотрено и обдумано автором с такой тщательностью, что невольно поддаешься убедительности описываемых событий. Кажется, что невидимый человек в самом деле должен быть могущественнейшим из смертных... Но это не так.

Есть одно маленькое обстоятельство, которое упустил остроумный автор «Невидимки». Это вопрос о том, — может ли невидимый видеть.

Может ли невидимый видеть?

Если бы Уэллс задал себе этот вопрос прежде, чем написать роман, изумительная история «Невидимки» никогда не была бы написана...

В самом деле, в этом пункте разрушается вся иллюзия могущества невидимого человека. *Невидимый должен быть слеп*!

Отчего герой романа невидим? Оттого, что все части его тела — в том числе и глаза — сделались прозрачными, и притом показатель их преломления равен показателю преломления воздуха.

Вспомним, в чем состоит роль глаза: его хрусталик, стекловидное тело и другие части преломляют лучи света так, что на сетчатой оболочке получается изображение внешних предметов. Но если преломляемость глаза и воздуха одинакова, то тем самым устраняется единственная причина, вызывающая преломление: переходя из одной среды в другую *равной преломляемости*, лучи не меняют своего направления, а потому и не могут собираться в одну точку. Лучи будут проходить через глаза невидимого человека совершенно беспрепятственно, не преломляясь и не задерживаясь в них, ввиду отсутствия пигмента *), следовательно, они не могут вызвать в его сознании никакого образа.

Итак, *невидимый человек не может ничего видеть*. Все его преимущества оказываются для него бесполезными. Грозный претендент на власть бродил бы ощупью, прося милостыню, которой никто не мог бы ему подать, так как проситель невидим. Вместо могущественнейшего из смертных перед нами был бы беспомощный калека, обреченный на жалкое существование... **).

---

*) Чтобы вызвать какое-нибудь ощущение у животного, лучи света должны произвести в его глазу некоторые, хотя бы самые незначительные, изменения, т. е. выполнить определенную *работу*. Для этого лучи должны хотя бы в некоторой части *задерживаться* глазом. Но совершенно прозрачный глаз, конечно, не может задерживать лучи: иначе он не был бы прозрачен. У всех животных, которые защищаются тем, что они прозрачны, глаза, если они имеются, не бывают вполне прозрачны. «Непосредственно под поверхностью моря,— пишет известный океанограф Меррей,— большинство животных прозрачно и бесцветно; когда их извлекают сетью, их можно отличить *только по маленьким черным глазам*, так как кровь их лишена гемоглобина (красящего вещества) и совершенно прозрачна».

**) Возможно, что романист допустил этот существенный промах вполне сознательно. Известно, к какому литературному приему при-

Итак, в поисках «шапки-невидимки» бесполезно идти путем, указанным Уэллсом,— этот путь, даже при полном успехе поисков, не может привести к цели.

Охранительная окраска

Но есть и другой путь к разрешению задачи «шапки-невидимки». Он состоит в окраске предметов соответствующим цветом, делающим их незаметными для глаз. К нему постоянно прибегает природа: наделяя свои создания «охранительной» окраской, она в самом широком масштабе пользуется этим простым средством, чтобы защищать свои создания от врагов или облегчать им трудную борьбу за существование.

То, что военные называют «защитным цветом», зоологи со времени Дарвина называют охранительной или покровительственной окраской. Примеров такой защиты в мире животных можно привести целые тысячи; мы встречаемся с ними буквально на каждом шагу. Животные, обитающие в пустыне, имеют большей частью характерный желтовато-бурый «цвет пустыни»; вы находите этот цвет и у льва, и у птицы, и у ящерицы, у паука, у червя,— словом, у всех представителей пустынной фауны. Напротив, животные, населяющие снежные равнины Севера,— будь то опасный полярный медведь или безобидная гагара — наделены от природы белой окраской, делающей их незаметными на фоне снега. Бабочки и гусеницы, живущие на коре деревьев, имеют соответствующую окраску, с поразительной точностью воспроизводящую цвет древесной коры («монашенка» и др.).

Каждый собиратель насекомых знает, как трудно найти их из-за «защитного цвета», которым наделила их природа. Попробуйте поймать зелёного кузнечика, стрекочущего на лугу у ваших ног,— вы не сможете различить его на зеленом фоне, поглощающем его бесследно.

То же относится и к водным обитателям. Морские животные, водящиеся среди бурых водорослей, все имеют

бегает обычно Уэллс в своих фантастических произведениях: он заслоняет для читателей основной дефект фантастического построения обилием реалистических подробностей. В предисловии к американскому изданию его фантастических романов он прямо пишет: «Как только магический фокус проделан, нужно все прочее показать правдоподобным и обыденным. Надеяться нужно не на силу логических доводов, а на иллюзию, создаваемую искусством».

«защитный» бурый цвет, делающий их неуловимыми для глаз. В зоне красных водорослей преобладающим «защитным цветом» является красный. Серебристый цвет рыбьей чешуи — тоже «защитный». Он оберегает рыб и от хищных птиц, высматривающих их сверху, и от хищников водной стихии, угрожающих им снизу: водная поверхность имеет зеркальный вид не только при рассматривании сверху, но еще больше при взгляде снизу, из самой толщи воды («полное отражение»), и с этим-то блестящим металлическим фоном сливается серебристая рыбья чешуя. А медузы и другие прозрачные обитатели вод — черви, ракообразные, моллюски, сальпы — избрали своим «защитным цветом» полную бесцветность и прозрачность, делающую их невидимыми в окружающей бесцветной и прозрачной стихии.

«Уловки» природы в этом отношении далеко превосходят человеческую изобретательность. Многие животные обладают способностью изменять оттенок своего «защитного» цвета сообразно переменам окружающей обстановки. Серебристо-белый горностай, незаметный на фоне снега, утратил бы все преимущества защитной окраски, если бы с таянием снегов не изменил цвета своей шкурки; и вот, каждую весну белый зверек получает новую шубку рыжего цвета, сливающуюся с окраской обнаженной от снега почвы, а с наступлением зимы вновь седеет, облекаясь в белоснежный зимний наряд [6]).

Защитный цвет

Люди переняли у изобретательной природы это полезное искусство делать свое тело незаметным, сливаться с окружающим фоном. Пестрые краски блестящего обмундирования прежних времен, придававшие живописность батальным картинам, навсегда отошли в прошлое: их вытеснила знакомая одноцветная обмундировка защитного цвета. Серо-стальная окраска военных судов — тоже защитный цвет, делающий суда малоразличимыми на фоне моря.

Сюда же относится и так называемый «тактический камуфляж»: военная маскировка отдельных предметов — укреплений, орудий, танков, кораблей, искусственный туман и тому подобные меры введения противника в заблуждение. Маскируют лагерь особыми сетями, в ячейки

[illegible] пучки травы; сетки на касках с пучками материи, окрашенной в цвет травы, и т. п.

Широко применяется защитный цвет и маскировка в военной авиации. Самолет, окрашенный в коричневый, темно-зеленый и фиолетовый цвета (соответствующие расцветке поверхности Земли), при наблюдении с самолета сверху становится трудно отличимым от фона земной поверхности.

Маскировка же нижних поверхностей самолета от наблюдения с Земли производится окрашиванием их под цвет, соответствующий фону неба: светло-голубой, светло-розовый и белый. Краска эта располагается на поверхности самолета небольшими пятнами. На высоте 750 м эти цвета сливаются в общий малозаметный фон. На высоте 3000 м самолеты, имеющие подобную маскировку, становятся невидимыми. Бомбовозы, предназначенные для налетов в ночное время, окрашиваются в черный цвет.

Защитным цветом, пригодным для *всякой* обстановки, была бы *зеркальная* поверхность, отражающая фон. Предмет с такой поверхностью автоматически принимает вид и окраску окружающей среды; обнаружить его присутствие с дальнего расстояния почти невозможно. Немцы во время первой мировой войны применяли этот принцип для цеппелинов: поверхность многих цеппелинов была блестящая алюминиевая, отражающая небо и облака; заметить такой цеппелин при полете очень трудно, если его не выдает шум мотора.

Так осуществляются в природе и военной технике мечты народных сказок о шапке-невидимке.

Человеческий глаз под водой

Вообразите, что вам дана возможность оставаться под водой сколь угодно долго и что вы при этом держите глаза открытыми. Могли бы вы там видеть?

Казалось бы, раз вода прозрачна, ничто не должно мешать видеть под водой так же хорошо, как и в воздухе. Вспомните, однако, о слепоте «невидимого человека», который не в состоянии видеть потому, что показатели преломления его глаза и воздуха одинаковы. Под водой мы находимся приблизительно в тех же условиях, как и «невидимка» в воздухе. Обратимся к цифрам, — дело станет яснее. Показатель преломления воды 1,34. А вот по-

казатели преломления прозрачных сред человеческого глаза:

Роговая оболочка и стекловидное тело	1,34
Хрусталик	1,43
Водянистая влага	1,34

Вы видите, что преломляющая способность хрусталика всего на 1/10 сильнее, чем у воды, у остальных же частей нашего глаза она *одинакова* с преломляемостью воды. Поэтому под водой фокус лучей получается в глазу человека далеко позади сетчатой оболочки; следовательно, на самой сетчатке изображение должно вырисовываться смутно, различить что-либо можно лишь с трудом. Только очень близорукие люди видят под водой более или менее нормально.

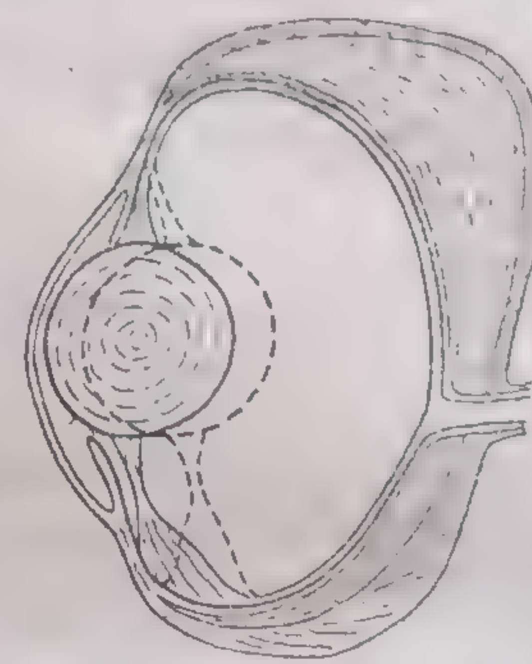


Рис. 110. Глаз рыбы в разрезе.

Если хотите наглядно представить себе, как должны рисоваться нам вещи под водой, наденьте очки с сильно рассеивающими (*двояковогнутыми*) стеклами; тогда фокус лучей, преломляющихся в глазу, отодвинется далеко за сетчатку, и окружающее предстанет перед вами в неясных, туманных образах.

Не может ли человек под водой помочь своему зрению, пользуясь сильно преломляющими стеклами?

Обыкновенные стекла, употребляемые для очков, здесь мало пригодны: показатель преломления простого стекла 1,5, т. е. лишь немногим больше, чем у воды (1,34); такие очки будут преломлять под водой очень слабо. Нужны стекла особого сорта, отличающиеся чрезвычайно сильной преломляющей способностью (так называемый «тяжелый флинтглас» имеет показатель преломления, почти равный 2). С такими очками мы могли бы более или менее отчетливо видеть под водой (о специальных очках для ныряющих см. далее).

Теперь понятно, почему у рыб хрусталик имеет чрезвычайно выпуклую форму: он шарообразен, и показатель его преломления — самый большой из всех, какие нам известны в глазах животных. При аккомодации хрусталик не изменяет форму, а перемещается так, как показано на

рис. 110). Не будь этого, глаза были бы почти бесполезны рыбам, обреченным на жизнь в сильно преломляющей прозрачной среде.

Как видят водолазы?

Многие, вероятно, спросят: как же могут водолазы, работающие в своих скафандрах, видеть что-либо под водой, если глаза наши в воде почти не преломляют лучей света? Ведь водолазные шлемы всегда снабжаются плоскими, а не выпуклыми стеклами... Далее, могли ли пассажиры жюль-вернова «Наутилуса» любоваться через окно своей подводной каюты ландшафтом подводного мира?

Перед нами новый вопрос, на который, впрочем, нетрудно ответить. Ответ станет ясен, если принять во внимание, что, когда мы находимся под водой без водолазного костюма, вода *непосредственно* прилегает к нашему глазу; в водолазном же шлеме (или в каюте «Наутилуса») глаз *отделен от воды слоем воздуха* (и стекла). Это существенно меняет дело. Лучи света, выходя из воды и пройдя через стекло, попадают сначала в воздух и лишь отсюда проникают в глаз. Падая из воды на *плоскопараллельное* стекло под каким-либо углом, лучи, по законам оптики, выходят из стекла, *не меняя направления*; но далее, при переходе из воздуха в глаз, лучи, конечно, преломляются,— и глаз при этих условиях действует совершенно так же, как и на суше. В этом и кроется разгадка смутившего нас противоречия. Лучшая иллюстрация ее — это, что мы вполне хорошо видим рыб, плавающих в аквариуме.

Стеклянные чечевицы под водой

Пробовали ли вы делать такой простой опыт: погрузить «увеличительное» (двояковыпуклое) стекло в воду и рассматривать через него погруженные предметы? Попробуйте,— вас поразит неожиданность: увеличительное стекло в воде почти не увеличивает! Погрузите в воду «уменьшительное» (двояковогнутое) стекло,— и окажется, что оно почти утратит свойство уменьшать. Если вы проделаете опыт не с водой, а с растительным маслом (например, кедровым), имеющим показатель преломления больший, чем стекло, то двояковыпуклое стекло будет *уменьшать* предметы, двояковогнутое — *увеличивать* их!

Вспомните, однако, закон преломления лучей света, — и эти чудеса не будут удивлять вас своей необычайностью. Двояковыпуклая чечевица увеличивает в воздухе потому, что стекло преломляет свет сильнее, нежели окружающий ее воздух. Но между преломляющей способностью стекла и воды разница невелика; поэтому если вы поместите стеклянную чечевицу в воду, то лучи света, переходя из воды в стекло, не испытают большого отклонения. Оттого-то под водой увеличительное стекло гораздо слабее увеличивает, чем в воздухе, а уменьшительное — слабее уменьшает.

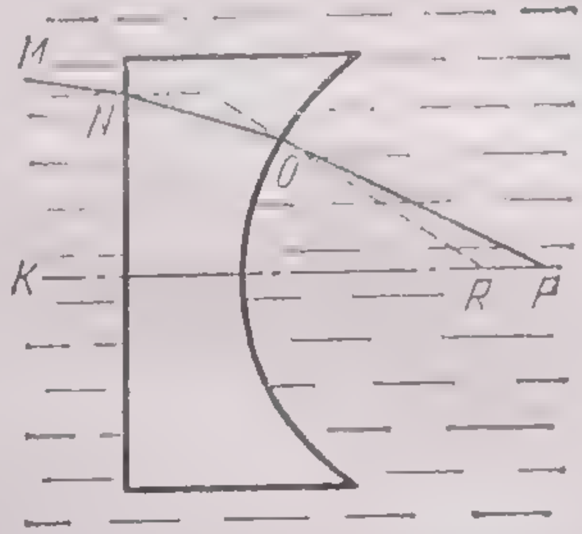


Рис. 111. Очки для ныряющих состоят из полых плоско-вогнутых линз.

Растительное же масло преломляет лучи сильнее, чем стекло, и потому в этой жидкости «увеличительные» стекла уменьшают, а «уменьшительные» увеличивают. Так же действуют под водой и полые (вернее, воздушные) линзы: вогнутые увеличивают, выпуклые — уменьшают. Очки для ныряющих представляют собой именно такие полые линзы (рис. 111). Луч MN, преломляясь, следует по пути $MNOP$, *удаляясь* внутри линзы от перпендикуляра падения и *приближаясь* к нему (т. е. к OR) вне линзы. Поэтому полая линза действует как увеличительное стекло.

Неопытные купальщики

Неопытные купальщики нередко подвергаются большой опасности только потому, что забывают об одном любопытном следствии закона преломления света: они не знают, что преломление словно поднимает все погруженные в воду предметы выше истинного их положения. Дно пруда, реки, каждого водоема представляется глазу *приподнятым* почти на третью часть глубины; полагаясь на эту обманчивую мелкость, люди нередко попадают в опасное положение. Особенно важно знать это детям и вообще людям невысокого роста, для которых ошибка в определении глубины может оказаться роковой.

Причина — преломление световых лучей. Тот же оптический закон, который придает полупогруженной в воду

[illegible] (рис. 112), [illegible] и кажущееся поднятие дна.

Вы можете проверить это.

Посадите товарища за стол так, чтобы он не мог видеть дна стоящей перед ним чашки. На дно ее положите монету, которая, разумеется, будет заслонена стенкой чашки от глаз вашего товарища. Теперь попросите товарища не поворачивать головы и налейте в чашку воды. Произойдет нечто неожиданное (рис. 113): монета сделается для вашего гостя видимой! Удаляйте воду из чашки спринцовкой, — и дно с монетой опять опустится.

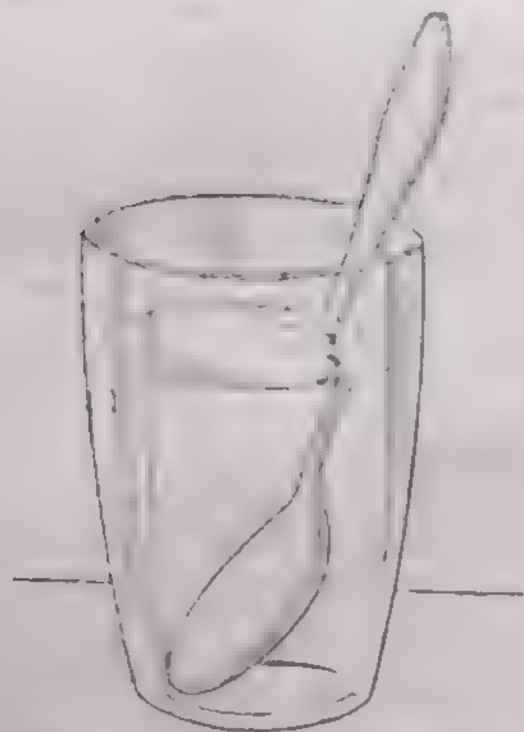


Рис. 112. Неправильное изображение ложки, опущенной в стакан с водой.

Рис. 114 объясняет, как это происходит. Участок дна m кажется наблюдателю (глаз которого — над водой, в точке A) в приподнятом положении: лучи преломляются, и, переходя из воды в воздух, вступают в глаз, который видит участок на продолжении этих линий, т. е. над m. Чем наклоннее идут лучи, тем выше поднимается m. Вот почему при рассматривании, например, с лодки ровного дна пруда нам всегда

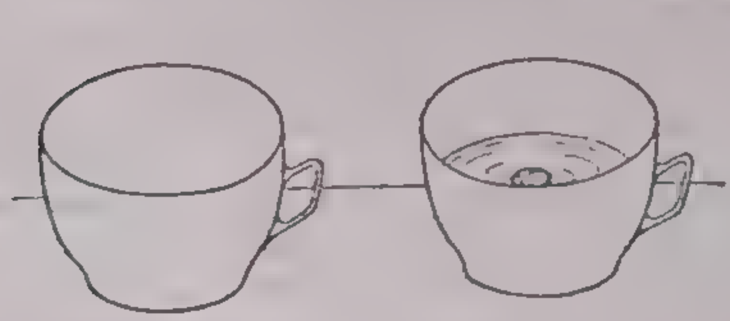


Рис. 113. Опыт с монетой в чашке.

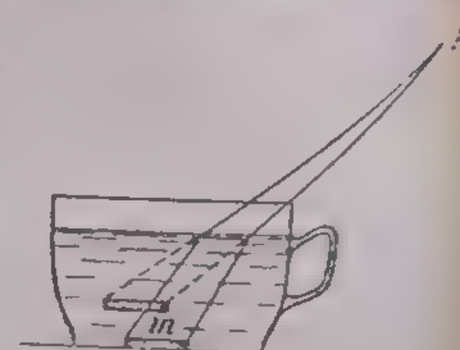


Рис. 114. Почему монета кажется приподнявшейся.

кажется, что оно наиболее глубоко прямо под нами, а кругом — все мельче и мельче.

Итак, дно пруда кажется *вогнутым*. Наоборот, если бы мы могли со дна пруда смотреть на перекинутый через него мост, он казался бы нам *выпуклым* (как изображено на рис. 115; о способе получения этой фотографии будет сказано позже). В данном случае лучи переходят из сла-

бо преломляющей среды (воздуха) в сильно преломляющую (воду), поэтому и эффект получается обратный, чем при переходе лучей из воды в воздух. По сходной причине и ряд людей, стоящих, например, возле аквариума с плоскими стенками, должен казаться рыбам не прямой шеренгой,

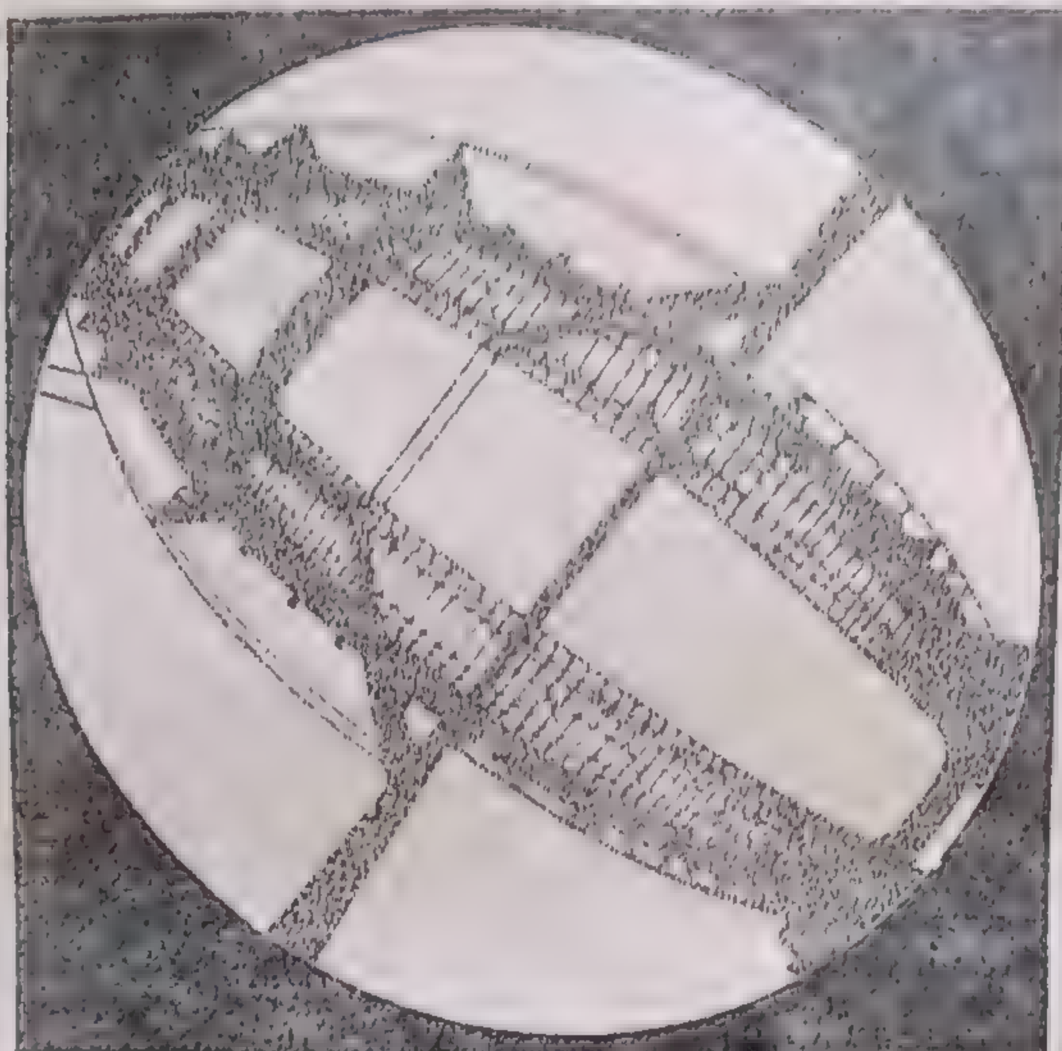


Рис. 115. В таком виде представляется подводному наблюдателю железнодорожный мост, перекинутый через реку.

а дугой, обращенной своей выпуклостью к рыбе. О том, как видят рыбы, или, вернее, как они должны были бы видеть, если бы имели человеческие глаза, мы далее побеседуем подробнее.

Невидимая булавка

Воткните булавку в плоский пробковый кружок и положите его булавкой вниз на поверхность воды в миске. Если пробка не чересчур широка, то, как бы ни наклоняли вы голову, вам не удастся увидеть булавку — хотя, казалось бы, она достаточно длинна, чтобы пробка не заслоняла ее от вас (рис. 116).

Почему же лучи света не доходят от булавки до наших глаз? Потому что они претерпевают то, что в физике называется «полным внутренним отражением».

Напомним, в чем состоит это явление.

На рис. 117 можно проследить за ходом лучей, переходящих из воздуха в воду (вообще из среды менее преломляющей в среду более преломляющую) и обратно. Когда лучи идут *из воздуха в воду*, то они приближаются к «перпендикуляру падения»; например, луч, падающий на воду под углом β к перпендикуляру в плоскости падения, вступает в воду уже под углом α, который *меньше*, чем β (рис. 117, *а*).



Рис. 116. Опыт с булавкой, [illegible]

Но что бывает, когда падающий луч, скользя по поверхности воды, падает на водную поверхность почти под прямым углом к перпендикуляру? Он вступает в воду под углом, меньшим чем прямой, а именно под углом всего в 48,5°. Под большим углом к перпендикуляру, чем 48,5°, луч вступить в воду не может; это для воды «предельный» угол (рис. 117, *б*).

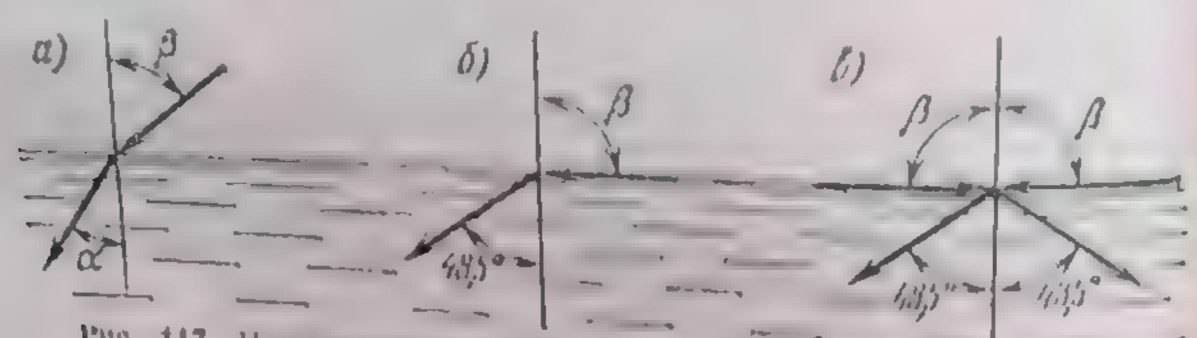


Рис. 117. Преломление лучей при переходе из воздуха в воду.

Необходимо уяснить себе эти несложные соотношения, чтобы понять дальнейшие следствия закона преломления.

Мы сейчас узнали, что лучи, падающие на воду под всевозможными углами, сжимаются *под водой* в довольно тесный конус с углом раствора 48,5° + 48,5° = 97° (рис. 117, *в*).

Проследим теперь за ходом лучей, идущих обратно (из точки *P*) — *из воды в воздух* (рис. 118). По законам оптики, пути будут те же самые, и все лучи, заключенные в упомянутом 97-градусном конусе, выйдут в воздух под различными углами, распределяясь по всему 180-градусному пространству над водой.

Но куда же денется подводный луч, находящийся вне упомянутого конуса? Оказывается, *он не выйдет во-*

се из-под воды, а отразится целиком от ее поверхности, как от зеркала. Вообще всякий подводный луч [7]), встречающий поверхность воды под углом, бо́льшим «предельного» (т. е. бо́льшим 48,5°), не преломляется, а отражается: он претерпевает, как говорят физики, «полное внутреннее отражение» *).

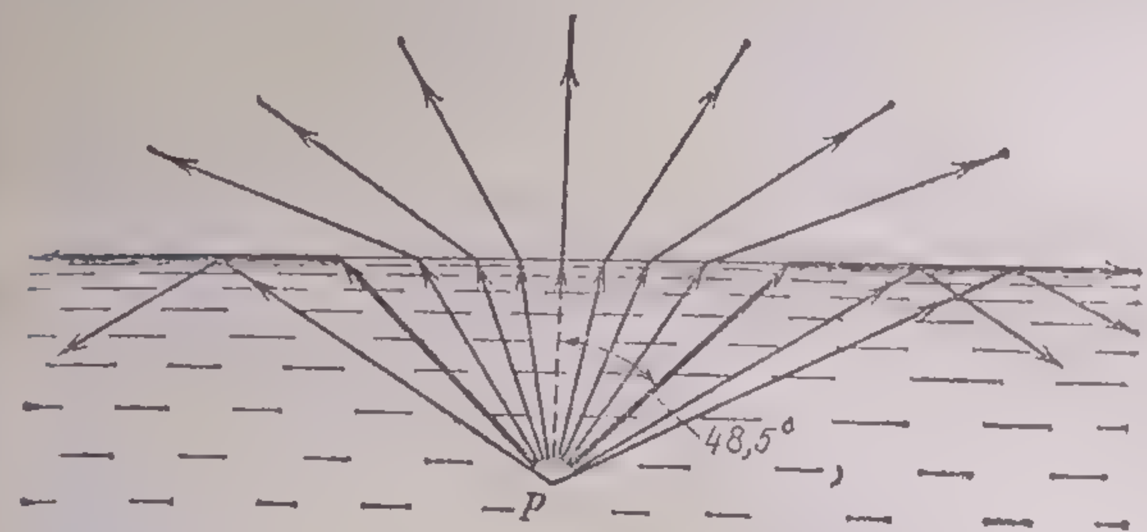


Рис. 118. Преломление лучей при переходе из воды в воздух.

Если бы рыбы изучали физику, то главнейшим отделом оптики было бы для них учение о «внутреннем отражении», так как в их подводном зрении оно играет первостепенную роль [8]).

В связи с особенностями подводного зрения находится, по всей вероятности, то обстоятельство, что многие рыбы имеют серебристую окраску. По мнению зоологов, такая окраска есть результат приспособления рыб к цвету расстилающейся над ними водной поверхности: при наблюдении *снизу* поверхность воды, как мы знаем, кажется зеркальной—вследствие «полного внутреннего отражения»; а на таком фоне серебристо-окрашенные рыбы остаются незаметными для охотящихся на них водных хищников.

Мир из-под воды

Многие и не подозревают, каким необычайным казался бы мир, если бы мы стали рассматривать его из-под воды: он должен представляться наблюдателю измененным и искаженным почти до неузнаваемости.

---

*) Отражение называется в данном случае *полным* потому, что здесь отражаются все падающие лучи, между тем как даже самое лучшее зеркало (из полированного магния или серебра) отражает только *часть* падающих на него лучей, остальную же поглощает. Вода при указанных условиях является идеальным зеркалом.

Вообразите, что вы погружены в воду и смотрите из-под водной скатерти в мир надводный. Облако, висящее в небе прямо над вашей головой, нисколько не изменит своего вида: отвесный луч не преломляется. Но все остальные предметы, лучи которых встречают водную поверхность под острыми углами, представятся искаженными: они словно сожмутся по высоте — тем сильнее, чем острее угол встречи луча с водной гладью (рис. 110). Это и понятно: весь мир, видимый над водой, должен уместиться в тесном подводном конусе: 180° должны

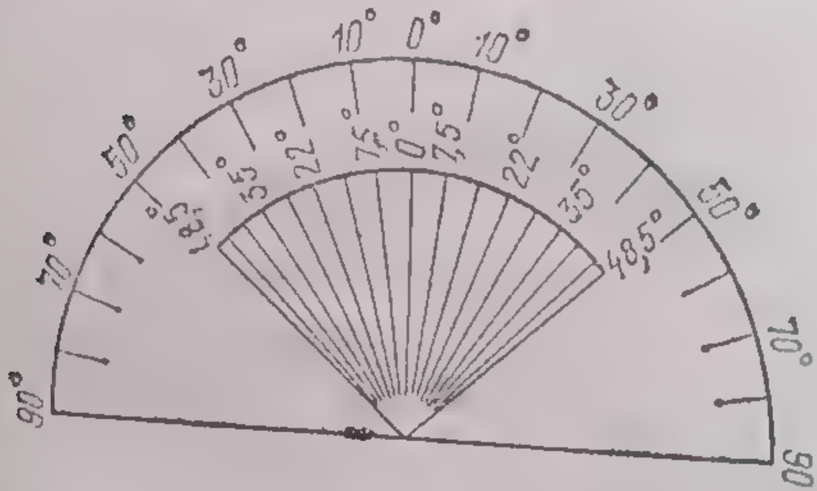


Рис. 110. Дуга надводного мира в 180° сокращается для подводного наблюдателя до дуги в 97°.

сжаться почти вдвое — до 97°, и изображения неизбежно будут искажаться. Предметы, лучи которых встречают водную гладь под углом в 10°, сжимаются в воде настолько, что почти перестают различаться. Но всего более поразил бы вас вид самой водной поверхности: из-под воды она представляется вовсе не плоской, а в форме конуса! Вам покажется, что вы находитесь на дне огромной воронки, бока которой наклонены друг к другу под углом немного больше прямого (97°). Верхний край этого конуса окружен радужным кольцом из красной, желтой, зеленой, синей и фиолетовой каемок. Почему? Белый солнечный свет состоит из смеси лучей разных цветов; каждый цвет лучей имеет свой показатель преломления, а потому и свой «предельный угол». Следствием этого является то, что при рассматривании из-под воды предмет кажется окруженным пестрым ореолом из цветов радуги.

Что же видно далее, за краями конуса, заключающего в себе весь надводный мир? Там расстилается блестящая поверхность воды, в которой, как в зеркале, отражаются *подводные* предметы.

Совершенно необычайный вид приобрели бы для подводного наблюдателя те предметы, которые частью погружены в воду, частью же выступают над ней. Пусть

в реку погружена водомерная рейка (рис. 120). Что увидит наблюдатель, помещенный под водой, в точке *A*? Разделим обозреваемое им пространство (360°) на участки и займемся каждым участком отдельно. В пределах угла *1* он увидит дно реки, если только, конечно, оно достаточно освещено. В угле *2* он увидит подводную часть рейки без искажений. Примерно в угле *3* он увидит отражение той же части рейки, т. е. перевернутую погруженную половину ее (вспомните, что сказано было о «полном внутреннем отражении»). Еще выше подводный наблюдатель увидит

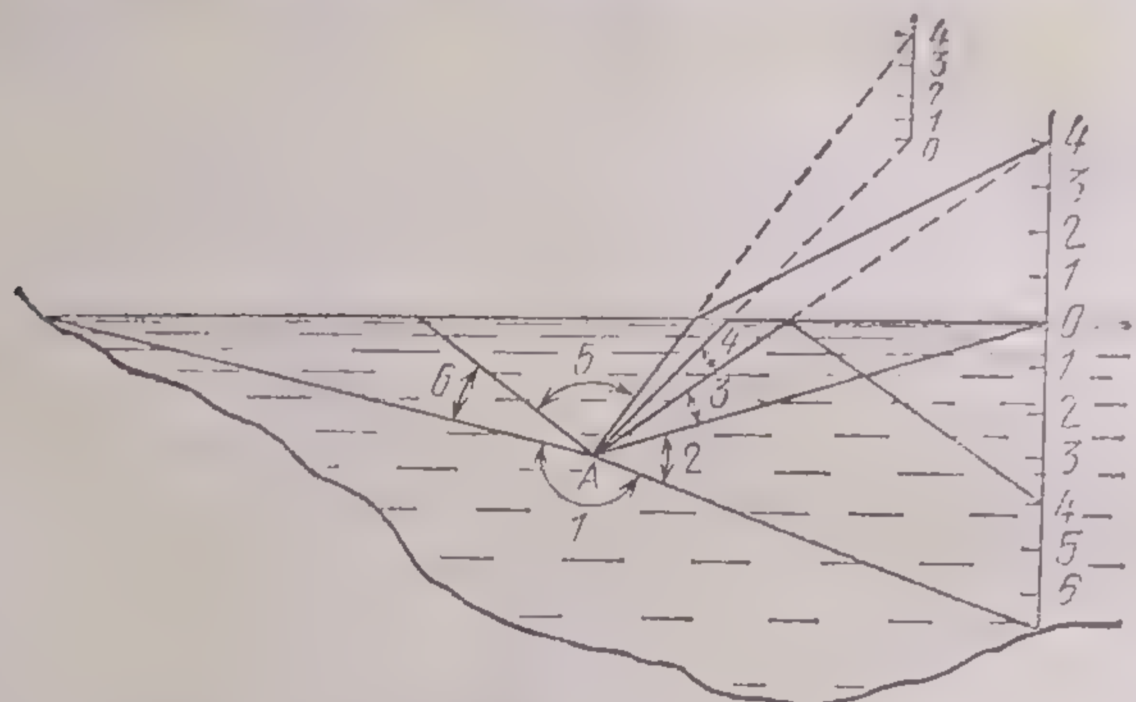


Рис. 120. Вид водомерной рейки для подводного наблюдателя.

выступающую часть рейки, — но она не составит продолжения подводной, а переместится гораздо выше, совершенно отделившись от своего основания. Разумеется, наблюдателю в голову не придет, что эта витающая рейка составляет продолжение первой! К тому же рейка покажется сильно сжатой, особенно в нижней части, — там деления будут заметно сближены. В угле *4* отражается дно. В угле *5* виден весь надводный мир в форме конической трубы. В угле *6* видно отражение дна от нижней поверхности воды. Дерево на берегу, затопленном разливом, должно из-под воды казаться таким, каким оно изображено на рис. 121.

А если бы на месте рейки находились купальщики, то с точки зрения наблюдателя из-под воды (например, рыб) каждый из них как бы раздваивался, превращался в два существа (рис. 122): верхнее — безногое, нижнее — безголовое с четырьмя ногами! Когда купальщик удаляется от подводного наблюдателя, верхняя половина его тела



Рис. 121. Как представляется из-под воды полузатопленное дерево (ср. с рис. 120).



Рис. 122. Как купальщики, погруженные до груди в воду, представляются подводному наблюдателю (ср. с рис. 120).

все сильнее сжимается в нижней части; на некотором расстоянии почти вся надводная половина туловища пропадает,— остается лишь одна свободно реющая голова...

Можно ли непосредственно, на опыте, проверить эти необычайные выводы? Ныряя под воду, мы увидели бы очень мало, даже если бы и приучили себя держать глаза открытыми. Во-первых, водная поверхность *не успевает успокоиться* в те немногие секунды, какие мы способны провести под водой, а сквозь *волнующуюся* поверхность трудно что-либо различить. Во-вторых, как мы уже объяснили ранее, преломление воды мало отличается от преломления прозрачных сред нашего глаза, и на сетчатке получается поэтому неясное изображение; окружающее будет казаться туманным, размытым (см. с. 187). Наблюдение из водолазного колокола, шлема или через стеклянное окно подводной лодки также не может дать желаемых результатов. В этих случаях,— как мы также уже разъяснили,— наблюдатель хотя и находится под водой, но вовсе не в условиях «подводного зрения»: прежде чем попасть в его глаз, лучи света в этих случаях, пройдя стекло, *вновь попадают в воздушную среду* и, следовательно, испытывают обратное преломление; при этом либо восстанавливается прежнее направление луча, либо же он получает новое направление, но во всяком случае не то, которое имел в воде. Вот почему наблюдения из стеклянных окон подводных помещений не могут дать *правильного представления* об условиях «подводного зрения».

Однако нет надобности быть *самому* под водой, чтобы познакомиться с тем, каким кажется мир из-под воды. Условия подводного зрения можно изучать с помощью особой фотографической камеры, которая внутри наполнена водой. Вместо объектива пользуются при этом металлической пластинкой с просверленной в ней дырочкой. Легко понять, что если все пространство между отверстием и светочувствительной пластинкой наполнено водой, то внешний мир должен изобразиться на пластинке в таком виде, в каком рисуется он подводному наблюдателю. Этим способом американский физик Вуд и получил чрезвычайно любопытные фотографии, одну из которых мы воспроизвели на рис. 115. Что касается причины искажения формы подводных предметов для подводного наблюдателя (прямые линии железнодорожного моста получились на фотографии Вуда в виде дуг), то мы указали на

нее, когда объясняли, почему плоское дно пруда кажется вогнутым (см. с. 190).

Есть и другой способ непосредственно познакомиться с тем, каким кажется мир подводным наблюдателям: в воду спокойного пруда можно погрузить зеркало и, дав ему надлежащий наклон, наблюдать в нем отражение надводных предметов. Результаты таких наблюдений подтверждают во всех подробностях те теоретические соображения, которые изложены выше.

Итак, прозрачный слой воды между глазом и предметами вне этого слоя искажает всю картину надводного мира, придает ему фантастические очертания. Существо, которое после жизни на суше очутилось бы в воде, не узнало бы родного мира, — так изменился бы он при рассматривании из глубины прозрачной водной стихии.

Цвета в глубине вод

Картинно описывает смену световых оттенков под водой американский биолог Бийб.

«Мы погрузились в батисфере в воду, и внезапный переход от золотисто-желтого мира в зеленый был неожиданным. После того как пена и пузыри сошли с окон, нас залил зеленый свет; наши лица, баллоны, даже вычерненные стены были окрашены им. Между тем, с палубы казалось, что мы погружаемся в темный ультрамарин.

Первое же погружение в воду лишает глаз теплых *) (т. е. красных и оранжевых) лучей спектра. Красный и оранжевый цвета словно никогда не существовали, а вскоре и желтые тоже были поглощены зелеными. Хотя радостные теплые лучи составляют лишь небольшую часть видимого спектра, но, когда они исчезают на глубине 30 или более метров, остается только холод, мрак и смерть.

По мере того как мы спускались, постепенно исчезали и зеленые тона; на глубине 60 метров уже нельзя было сказать, была ли вода зеленовато-синей или сине-зеленой.

На глубине 180 метров все казалось окрашенным густым, сияющим синим светом. В нем настолько мало было силы освещения, что писать и читать стало невозможно.

На глубине 300 метров я попытался определить цвет воды — черно-синий, темно-серо-синий. Странно, что, когда синий цвет пропадает, его не заступает фиолетовый — последний в видимом спектре: он, по-видимому, уже поглощен. Последний намек на синее переходит в неопределимый серый цвет, а серый, в свою очередь, в черный. Начиная с этого уровня солнце побеждено, и цвета изгнаны навсегда, пока не проникнет сюда человек и не пронижет

---

*) Здесь слово «теплый» употреблено в том смысле, какой придают этому слову художники, характеризуя оттенки цветов; «теплыми» они называют красный и оранжевый, в отличие от «холодных» — синего и голубого. — *Я. П.*

электрическим лучом то, что в течение миллиардов лет было абсолютной чернотой».

О темноте на большой глубине тот же исследователь пишет в другом месте следующее:

«Тьма на глубине 750 метров казалась черней, чем можно вообразить,— и все же теперь (на глубине около 1000 метров) она казалась чернее черного. Казалось, все предстоящие ночи в верхнем мире будут восприниматься только как относительные степени сумерек. И никогда более не мог я применять слово «черный» с твердым убеждением» [9]).

Слепое пятно нашего глаза

Если вам скажут, что в поле вашего зрения есть участок, который вы совершенно не видите, хотя он находится прямо перед вами, вы этому, конечно, не поверите. Возможно ли, чтобы мы всю жизнь не замечали такого крупного недостатка своего зрения? А между тем, вот простой опыт, который убедит вас в этом.

Держите рис. 123 на расстоянии сантиметров 20 от вашего правого глаза (закрывши левый) и смотрите на

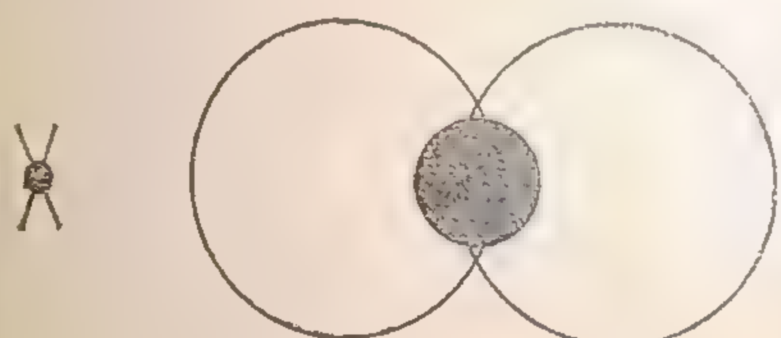


Рис. 123. Фигура для обнаружения слепого пятна.

крестик, помещенный слева; медленно приближайте рисунок к глазу: непременно наступит момент, когда большое черное пятно на скрещении обеих окружностей *бесследно исчезнет*! Вы его не увидите, хотя оно будет оставаться в пределах видимого участка, а *обе окружности справа и слева от него будут отчетливо видны*!

Этот опыт, впервые произведенный в 1668 г. (в несколько ином виде) знаменитым физиком Мариоттом, очень забавлял придворных Людовика XIV. Мариотт проделывал опыт так: помещал двух вельмож на расстоянии 2 м друг против друга и просил их рассматривать одним глазом некоторую точку сбоку,— тогда каждому казалось, что у его визави нет головы.

Как это ни странно, но люди только в XVII веке узнали, что на сетчатке их глаз существует «слепое пятно»,

о котором никто раньше не думал. Это то место сетчатой оболочки, где зрительный нерв вступает в глазное яблоко и еще не разделяется на мелкие разветвления, снабженные элементами, чувствительными к свету.

Мы не замечаем черной дыры в поле нашего зрения вследствие долговременной привычки. Воображение невольно заполняет этот пробел подробностями окружающего фона; так, на рис. 123 мы, не видя пятна, мысленно продолжаем линии окружностей и убеждены, будто ясно видим то место, в котором они пересекаются.

Если вы носите очки, [illegible] можете проделать такой опыт: наклейте кусочек [illegible] на стекло очков (не в самой середине, а сбоку) [illegible] дни бумажка будет мешать смотреть; но пр[illegible] [illegible]ля, другая, и вы так



Рис. 124. При рассматривании здания *одним* глазом небольшой участок c′ поля зрения, отвечающий *слепому пятну* (c) глаза, нами не воспринимается вовсе.

привыкнете к ней, что перестанете даже ее замечать. Впрочем, это хорошо знает каждый, кому приходилось носить очки с треснувшим стеклом: трещина замечается только в первые дни. Точно так же, в силу долговременной привычки, не замечаем мы слепого пятна нашего глаза. Кроме того, оба слепых пятна отвечают различным участкам поля зрения каждого глаза, так что при зрении двумя глазами не бывает пробела в их общем поле зрения.

Не думайте, что слепое пятно нашего поля зрения незначительно; когда вы смотрите (одним глазом) на дом с расстояния 10 м, то, из-за слепого пятна, не видите довольно обширной части его фасада, имеющей в поперечнике более 1 м; в нем умещается целое окно (рис. 124). А на небе остается невидимым пространство, равное по площади 120 дискам полной Луны!

Какой величины нам кажется Луна?

Кстати — о видимых размерах Луны. Если вы станете расспрашивать знакомых, какой величины *представляется* им Луна, то получите самые разнообразные ответы. Большинство скажет, что Луна величиной с тарелку, но будут и такие, которым она кажется величиной с блюдце для варенья, с вишню, с яблоко. Одному школьнику Луна всегда казалась «величиной с круглый стол на двенадцать персон». А один беллетрист утверждал, что на небе была «Луна диаметром в аршин».

Откуда такая разница в представлениях о величине одного и того же предмета?

Она зависит от различия в оценке *расстояния*,— оценке всегда бессознательной. Человек, видящий Луну величиной с яблоко, представляет ее себе находящейся на расстоянии гораздо меньшем, нежели те люди, которым она кажется с тарелку или круглый стол.

Большинство людей, впрочем, представляет себе Луну величиной с тарелку. Отсюда можно сделать любопытный вывод. Если вычислить (способ расчета станет ясен из дальнейшего), на какое расстояние помещает каждый из нас Луну, имеющую такие *видимые* размеры, то окажется, что удаление не превышает 30 м [10]). Вот на какое скромное расстояние отодвигаем мы бессознательно наше ночное светило!

На ошибочной оценке расстояний основано немало иллюзий зрения. Я хорошо помню оптический обман, который испытал в раннем детстве, «когда мне были новы все впечатленья бытия». Уроженец города, я однажды весной, во время загородной прогулки, в первый раз в жизни увидел пасущееся на лугу стадо коров; так как я неправильно оценил расстояние, коровы эти показались мне карликовыми! Таких крошечных коров я с тех пор ни разу не видел и, конечно, никогда не увижу *).

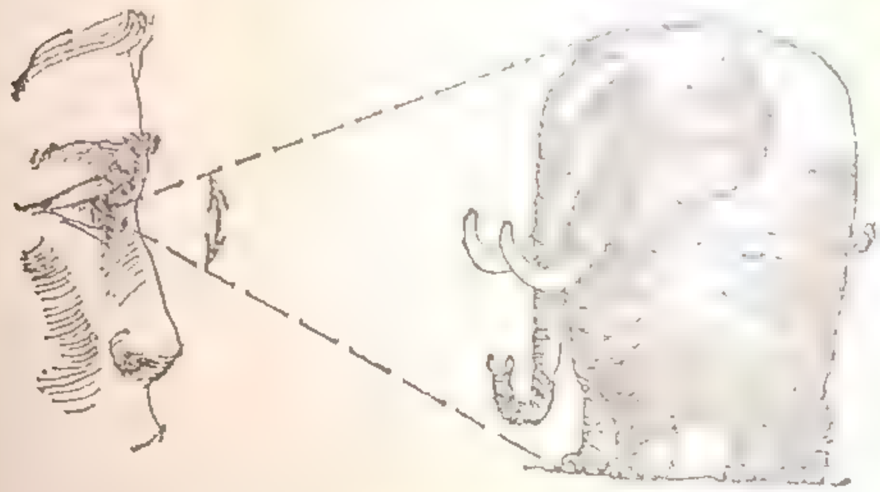


Рис. 125. Что такое угол зрения.

Видимый размер светил астрономы определяют размером того угла, под которым мы их видим. «Угловым размером», «углом зрения» называют угол, который составляют две прямые, проведенные к глазу от крайних точек рассматриваемого тела (рис. 125). Углы же, как известно, измеряются градусами, минутами и секундами. На вопрос о видимом размере лунного диска астроном не скажет, что диск равен яблоку или тарелке, а ответит, что он равен 0,5°; это значит, что прямые линии, проведенные от краев лунного диска к нашему глазу, составляют угол в 0,5°. Такое определение видимых размеров есть единственно правильное, не порождающее недоразумений.

Геометрия учит **), что предмет, удаленный от глаза на расстояние, в 57 раз большее его поперечника, должен

---

*) Впрочем, и взрослые иногда поддаются подобной иллюзии. Об этом свидетельствует следующий отрывок из повести Григоровича «Пахарь»:

«Окрестность открылась как на ладони; деревня казалась подле самого моста; дом, холм и березовая рощица казались примыкающими теперь к деревне. Все это — и дом, и сад, и деревня — принимало теперь вид тех игрушек, где стебли мха изображают деревья, кусочки зеркала — речку».

**) Читатель, заинтересовавшийся относящимися к углу зрения геометрическими расчетами, найдет разъяснения и примеры в моей книге «Занимательная геометрия».

представляться наблюдателю под углом почти в 1°. Например, яблоко диаметром 5 см будет иметь угловой размер 1°, если его держать от глаза на расстоянии 5,57 см. На расстоянии вдвое большем оно представится под углом 0,5°, т. е. такой же величины, какой мы видим Луну.

Если угодно, вы можете сказать, что Луна кажется вам величиной с яблоко, — но при условии, что яблоко это удалено от глаза на 570 см (около 6 м). При желании сравнить видимый размер Луны с тарелкой вам придется отодвинуть тарелку метров на 30. Большинство людей не хочет верить, что Луна представляется такой маленькой; но попробуйте поместить гривенник на таком расстоянии от глаза, которое в 114 раз больше его диаметра: он как раз покроет Луну, хотя удален от глаза на расстояние 2 м.

Если бы вам предложили нарисовать на бумаге кружок, изображающий диск Луны, видимый простым глазом, задача показалась бы вам недостаточно определенной: кружок может быть и большим и маленьким, смотря по тому, как далеко он отодвинут от глаза. Но условия определятся, если остановимся на том расстоянии, на каком мы обыкновенно держим книги, чертежи и т. п., т. е. на расстоянии лучшего зрения. Оно равно для нормального глаза 25 см.

Итак, вычислим, какой величины должен быть кружок хотя бы на странице этой книги, чтобы видимый размер его равнялся лунному диску. Расчет прост: надо разделить расстояние 25 см на 114. Получим довольно незначительную величину — чуть больше 2 мм! Примерно такой ширины буква «о» типографского шрифта этой книги. Прямо не верится, что Луна, а также равное ей по *видимым* размерам Солнце кажутся нам под таким небольшим углом!

Вы замечали, вероятно, что после того, как глаз ваш был направлен на Солнце, в поле зрения долго мелькают цветные кружки. Эти так называемые «оптические следы» имеют тот же угловой размер, что и Солнце. Но кажущиеся размеры их меняются: когда вы смотрите на небо, они имеют величину солнечного диска; когда же бросаете взгляд на лежащую перед вами книгу, «след» Солнца занимает на странице место кружка с диаметром около 2 мм, наглядно подтверждая правильность нашего расчета.

Видимые размеры светил

Если бы, сохраняя угловые размеры, мы пожелали изобразить на бумаге созвездие Большой Медведицы, то получили бы фигуру, представленную на рис. 126. Глядя на нее с расстояния лучшего зрения, мы видим созвездие таким, каким оно рисуется нам на небесном своде. Это, так сказать, карта Большой Медведицы с сохранением угловых размеров. Если вам хорошо знакомо зрительное

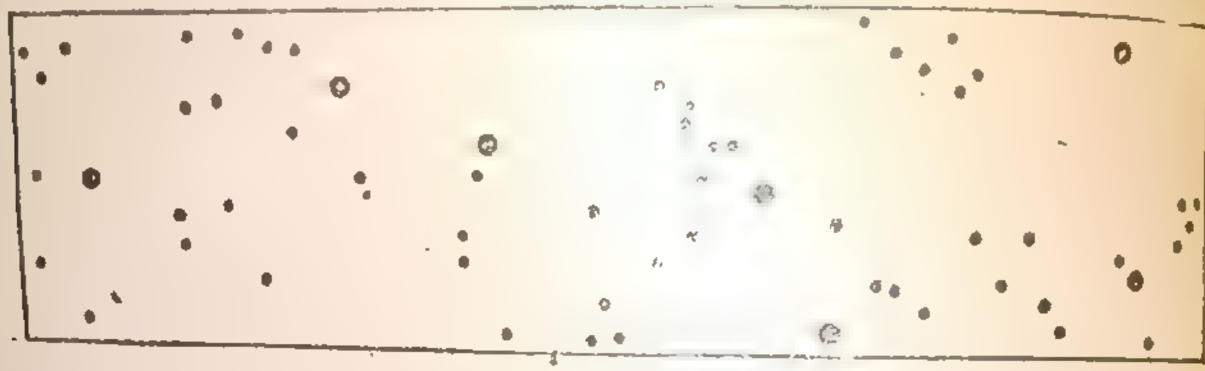


Рис. 126. Созвездие Большой Медведицы с сохранением угловых размеров.

впечатление от этого созвездия,— не только *фигура*, а именно непосредственное зрительное *впечатление*,— то, всматриваясь в рис. 126, вы словно вновь переживаете это впечатление. Зная угловые расстояния между главными звездами всех созвездий (они приводятся в астрономических календарях и подробных справочных изданиях), вы можете начертить в «натуральном виде» целый астрономический атлас. Для этого достаточно запастись миллиметровой бумагой и считать на ней каждые 4,5 мм за градус (площади кружков, изображающих звезды, надо чертить пропорциональными яркости).

Обратимся теперь к планетам. Видимые размеры их, как и звезд, настолько малы, что невооруженному глазу они кажутся лучистыми точками. Это и понятно, потому что ни одна планета (кроме разве Венеры в период ее наибольшей яркости) не представляется простому глазу под углом более 1 угл. мин., т. е. той предельной величины, при которой мы вообще можем различать предмет как тело, имеющее размеры (под меньшим углом каждый предмет кажется нам точкой без очертаний).

Вот размеры некоторых планет (в угловых секундах); против каждой планеты показаны две цифры — первая соответствует наименьшему расстоянию светила от Земли, вторая — наибольшему:

Меркурий	13—5	Юпитер	50—31
Венера	64—10	Сатурн	20—15
Марс	25—3,5	Кольца Сатурна	48—35

Представить эти размеры в «натуральном масштабе» на бумаге нет возможности: даже целая угловая минута, т. е. 60 угловых секунд, отвечает, на расстоянии лучшего зрения, лишь 0,04 мм — величине, неразличимой для простого глаза. Изобразим поэтому планетные диски такими, какими они кажутся в телескоп, увеличивающий в 100 раз. На рис. 127 перед вами схема видимых размеров планет при таком увеличении. Нижняя дуга изображает край лунного (или солнечного) диска в телескопе со

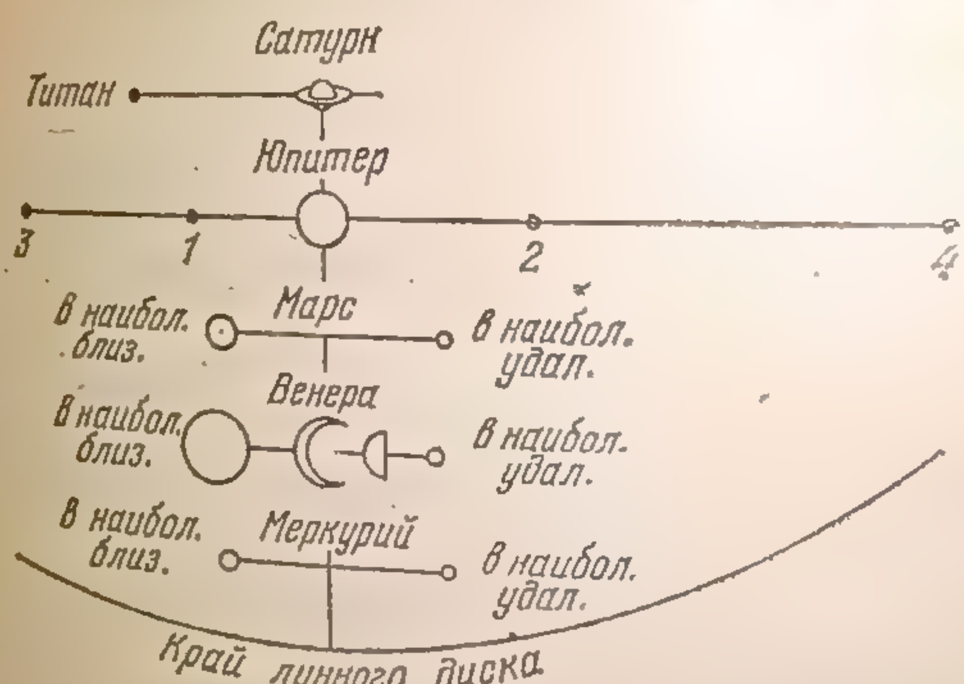


Рис. 127. Если держать этот чертеж на расстоянии 25 см от глаза, то начерченные на нем планетные диски представятся нам по размерам в точности такими, какими видны планеты в телескоп, увеличивающий в 100 раз.

100-кратным увеличением. Над ним — Меркурий в наибольшей близости и наибольшем удалении от Земли. Еще выше Венера в разных фазах; в ближайшем к нам положении эта планета совершенно не видна, так как обращена к Земле неосвещенной половиной *); затем становится видимым ее узкий серп, — это наибольший из всех планетных «дисков»; в дальнейших фазах Венера все уменьшается, и полный диск имеет поперечник, в 6 раз меньший, нежели у узкого серпа.

Выше над Венерой изображен Марс. Слева вы видите его в наибольшем приближении к Земле; таким показы-

*) Ее можно видеть в этом положении только в те крайне редкие моменты, когда она проектируется на диск Солнца в виде черного кружочка (так называемое «прохождение Венеры»).

дает его нам труба со 100-кратным увеличением. Что можно различить на этом маленьком диске? Вообразите тот же кружок увеличенным в 10 раз, и получите представление о том, что видит астроном, изучающий Марс в могущественнейший телескоп с 1000-кратным увеличением. Можно ли на столь тесном пространстве уловить с несомненностью такие тонкие подробности, как пресловутые «каналы», или заметить легкое изменение окраски, связанное будто бы с растительностью на дне «морей» этого мира? Неудивительно, что свидетельства одних наблюдателей существенно расходятся с показаниями других, и одни считают оптической иллюзией то, что другие будто бы отчетливо видят... [11]).

Великан Юпитер со своими спутниками занимает очень видное место в нашей таблице; его диск значительно больше диска прочих планет (исключая серп Венеры), а четыре главных спутника расположены по линии, равной почти половине лунного диска. Здесь Юпитер изображен в наибольшем приближении к Земле. Наконец, Сатурн с кольцами и самым крупным из его спутников (Титаном) представляет собой также довольно заметный объект в моменты наибольшей близости к нам.

После сказанного читателю ясно, что каждый видимый предмет кажется нам тем меньшим, чем ближе мы его себе представляем. И обратно: если почему-либо мы преувеличим расстояние до предмета, то и сам предмет покажется нам соответственно бо́льших размеров.

Далее приведен поучительный рассказ Эдгара По, описывающий именно такую иллюзию зрения. При кажущемся неправдоподобии он вовсе не фантастичен. Я сам сделался однажды жертвой почти такой же иллюзии, — да и многие из читателей, вероятно, вспомнят сходные случаи из собственной жизни.

«Сфинкс»*)

«В эпоху ужасного владычества холеры в Нью-Йорке я получил приглашение от одного из моих родственников провести две недели на его уединенной даче. Мы провели бы время очень недурно, если бы не ужасные вести из города, получавшиеся ежедневно. Не было дня, который бы не принес нам известия о смерти кого-либо из знакомых. Под конец мы со страхом ожидали газету. Самый ветер с юга,

*) Перевод М. А. Энгельгардта. В тексте сделаны несущественные пропуски.— *Я. П.*

казалось нам, был насыщен смертью. Эта леденящая мысль всецело овладела моей душой. Мой хозяин был человек более спокойного темперамента и старался ободрить меня.

На закате жаркого дня я сидел с книгой в руках у раскрытого окна, из которого открывался вид на отдаленный холм за рекой. Мысли мои давно уже отвлеклись от книги к унынию и отчаянию, царившим в соседнем городе. Подняв глаза, я случайно взглянул на обнаженный склон холма и увидел нечто страшное: отвратительное чудовище быстро спускалось с вершины холма и исчезло в лесу у его подножия. В первую минуту, увидев чудовище, я усомнился в здравом состоянии моего рассудка или, по крайней мере, глаз, и только спустя несколько минут убедился, что я не брежу. Но если я опишу это чудовище (которое я видел совершенно ясно и за которым наблюдал все время, пока оно спускалось с холма), мои читатели, пожалуй, не так легко поверят этому.

Определяя размеры этого существа по сравнению с диаметром огромных деревьев, я убедился, что оно далеко превосходит величиной любой линейный корабль. Я говорю линейный корабль, потому что форма чудовища напоминала корабль: корпус семидесятичетырехпушечного судна может дать довольно ясное представление об его очертаниях. Пасть животного помещалась на конце хобота футов в шестьдесят или семьдесят длиной и приблизительно такой же толщины, как туловище обыкновенного слона. У основания хобота находилась густая масса косматых волос, а из нее выдавались, изгибаясь вниз и вбок, два блестящих клыка, подобные кабаньим, только несравненно больших размеров. По обеим сторонам хобота помещались два гигантских прямых рога, футов в тридцать или сорок длиной, по-видимому, хрустальных; они ослепительно сияли в лучах солнца. Туловище имело форму клина, обращенного вершиной к земле. Оно было снабжено двумя парами крыльев, — каждое имело футов около 300 в длину,— помещавшимися одна над другой. Крылья были густо усажены металлическими пластинками; каждая имела футов десять-двенадцать в диаметре. Но главную особенность этого страшного существа составляло изображение мертвой головы, занимавшей почти всю поверхность груди; она резко выделялась на темной поверхности своим ярким белым цветом, точно нарисованная.

Пока я с чувством ужаса смотрел на это страшное животное, в особенности на зловещую фигуру на его груди, оно внезапно разинуло пасть и испустило громкий стон... Нервы мои не выдержали, и, когда чудовище исчезло у подошвы холма в лесу, я без чувств повалился на пол...

Когда я очнулся, первым моим побуждением было рассказать моему другу о том, что я видел. Выслушав меня до конца, он сначала расхохотался, а затем принял очень серьезный вид, как будто нисколько не сомневался в моем помешательстве.

В эту минуту я снова увидел чудовище и с криком указал на него моему другу. Он посмотрел, но уверял, что ничего не видит, хотя я подробно описывал ему положение животного, пока оно спускалось с холма.

Я закрыл лицо руками. Когда я отнял их, чудовище уже исчезло.

Мой хозяин принялся расспрашивать меня о внешнем виде чудовища. Когда я рассказал ему все подробно, он перевел дух, точно избавившись от какой-то невыносимой тяжести, подошел к книж-

ному шкафу и достал учебник естественной истории. Затем, предложил мне поменяться местами, так как у окна ему легче было разбирать мелкую печать книги, он уселся на стул и, открыв учебник, продолжал:

— Если бы вы не описали мне так подробно чудовище, я, пожалуй, никогда не мог бы объяснить вам, что это такое было. Прежде всего, позвольте, я вам прочту из этого учебника описание рода Sphinx из семейства Crepuscularia (сумеречных) отряда Lepidoptera (чешуекрылых, или бабочек) класса Insecta, т. е. насекомых. Вот оно:

«Две пары перепончатых крыльев, покрытых мелкими окрашенными чешуйками металлического [illegible]; ротовые органы, образовавшиеся из удлиненных нижних челюстей; по бокам их зачатки пушистых щупальцев; нижние крылья соединены с верхними крепкими волосками; усики в виде призматических отростков; брюшко заостренное. Сфинкс Мертвая Голова является иногда предметом суеверного ужаса среди простона[illegible] издаваемого им печального звука и фигуры черепа [illegible].

Тут он закрыл книгу и наклонился к окну в той же самой позе, в какой сидел я, когда увидел «чу[illegible]

— Ага, вот оно! — воскликнул [illegible] поднимается по склону холма и, признаюсь, выглядит очень [illegible]. Но оно вовсе не так велико и не так далеко, как вы вообразили, так как взбирается по нити, прикрепленной каким-нибудь [illegible] к нашему окну!»

Почему микроскоп увеличивает?

«Потому что он изменяет ход лучей определенным образом»,— вот что чаще всего приходится слышать в ответ на этот вопрос. Но в таком ответе указывается причина; самая же сущность дела не затрагивается. В чем же основная причина увеличительного действия микроскопа и телескопа?

Я узнал ее не из учебника, а постиг случайно, когда школьником заметил однажды чрезвычайно любопытное и сильно озадачившее меня явление. Я сидел у закрытого окна и смотрел на кирпичную стену дома в противоположной стороне узкого переулка. Вдруг я в ужасе отшатнулся: с кирпичной стены — я ясно видел это! — смотрел на меня исполинский человеческий глаз в несколько метров шириной... В то время я еще не читал

---

*) Теперь эту бабочку относят к роду Acherontia. Это одна из немногих бабочек, способных издавать звуки — свист, напоминающий мышиный визг,— и единственная, производящая звуки с помощью ротовых органов. Голос ее довольно громок,— он слышен за много метров. В данном случае он мог показаться наблюдателю особенно громким, так как источник звука мысленно отнесен был на весьма далекое расстояние (см. статью «Курьезы слуха» в конце книги).

приведенного выше рассказа Эдгара По и потому не сразу сообразил, что исполинский глаз был отражением моего собственного, отражением, которое я проектировал на отдаленную стену и потому представлял себе соответственно увеличенным.

Догадавшись же, в чем дело, я стал размышлять о том, нельзя ли устроить микроскоп, основанный на этом обмане зрения. И вот тогда, когда я потерпел неудачу, мне стало ясно, в чем сущность увеличительного действия микроскопа: вовсе не в том, что рассматриваемый

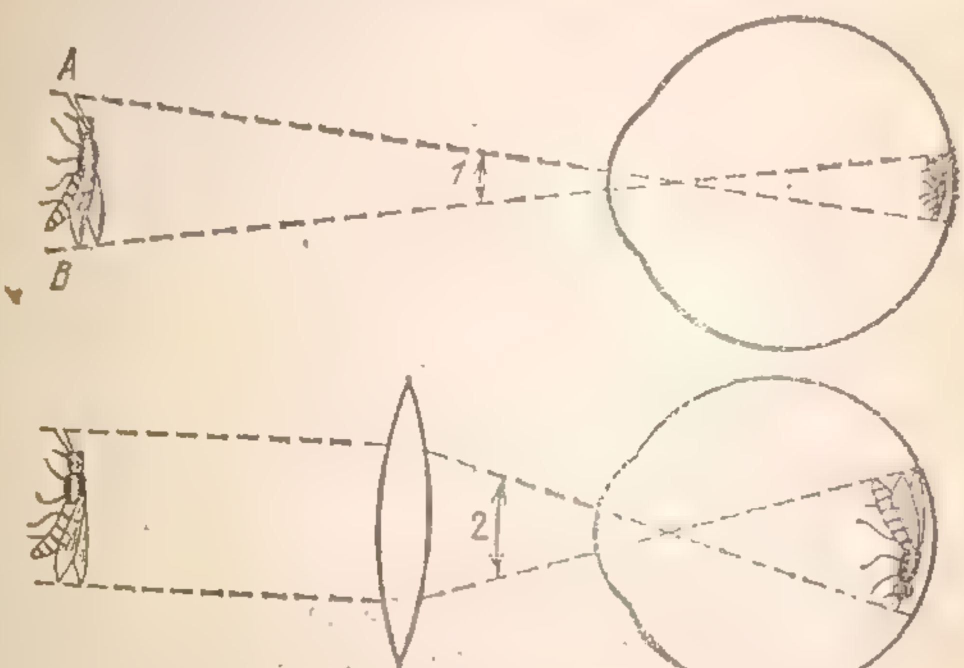


Рис. 128. Линза увеличивает изображение на сетчатке глаза.

предмет кажется бóльших размеров, а в том, что он рассматривается нами *под бóльшим углом зрения*, а следовательно,— и это самое важное,— его изображение занимает *больше места на сетчатке нашего глаза* (рис. 128).

Чтобы понять, почему столь существенное значение имеет здесь угол зрения, мы должны обратить внимание на важную особенность нашего глаза: каждый предмет или каждая его часть, представляющиеся нам под углом, меньшим одной угловой минуты, сливаются для нормального зрения *в точку*, в которой мы не различаем ни формы, ни частей. Когда предмет так далек от глаза или так мал сам по себе, что весь он или отдельные части его представляются под углом зрения менее одной угловой минуты, мы перестаем различать в нем подробности его строения. Происходит же это потому, что при таком угле зрения изображение предмета на дне глаза (или изображение какой-либо части предмета) захватывает не множество нервных окончаний в сетчатке сразу, а умещается целиком на

одном чувствительном элементе: подробности формы и строения тогда исчезают, — мы видим *точку*.

Роль микроскопа и телескопа состоит в том, что, изменяя ход лучей от рассматриваемого предмета, они показывают его нам под бо́льшим углом зрения; изображение на сетчатке растягивается, захватывает больше нервных окончаний, и мы различаем уже в предмете такие подробности, которые раньше сливались в точку. «Микроскоп или телескоп увеличивает в 100 раз», — это значит, что он показывает нам предметы под углом зрения в 100 раз бо́льшим, чем мы видим их без инструмента. Если же оптический инструмент не увеличивает угла зрения, то он *не даст никакого увеличения, хотя бы нам и казалось, что мы видим предмет увеличенным*. Глаз на кирпичной стене казался мне огромным, — но я не видел в нем *ни одной лишней подробности* по сравнению с тем, что вижу, глядя в зеркало. Луна низко у горизонта кажется нам заметно большей, чем высоко на небе, — но разве на этом увеличенном диске замечаем мы хоть одно лишнее пятнышко, неразличимое при высоком стоянии Луны?

Если обратимся к случаю увеличения, описанному в рассказе Эдгара По «Сфинкс», мы убедимся, что и здесь в увеличенном объекте не было усмотрено никаких новых частностей. Угол зрения оставался неизменным, бабочка видна под одним и тем же углом, относим ли мы ее далеко в лес или близко к раме окна. А раз не меняется угол зрения, то увеличение предмета, как бы ни поражало оно ваше воображение, не открывает наблюдателю ни одной новой подробности. Как истинный художник, Эдгар По верен природе даже и в этом пункте своего рассказа. Заметили ли вы, как описывает он «чудовище» в лесу: перечень отдельных членов насекомого не заключает ни одной новой черты по сравнению с тем, что представляет «мертвая голова» при наблюдении невооруженным глазом. Сравните оба описания, — они не без умысла приведены в рассказе, — и вы убедитесь, что они отличаются только в словесных выражениях (10-футовые пластинки — чешуйки, гигантские рога — усики; кабаньи клыки — щупальца и т. д.), но никаких новых подробностей, неразличимых простым глазом, в первом описании нет.

Если бы действие микроскопа заключалось лишь в *таком* увеличении, он был бы бесполезен для науки, превратившись в любопытную игрушку, не более. Но мы знаем, что это не так, что микроскоп открыл человеку

ного зрения:

> Хоть острым взором нас природа одарила,
> Но близок оного конец имеет сила.
> Коль много тварей он еще не досягает,
> Которых малый рост пред нами сокрывает!

— писал наш первый натуралист Ломоносов в «Письме о пользе стекла». Но «в нынешних веках» нам микроскоп открыл строение мельчайших, невидимых существ:

> Коль тонки члены в них, составы, сердце, жилы
> И нервы, что хранят в себе животны силы!
> Не меньше, нежели в пучине тяжкий кит.
> Нас малый червь частей сложением дивит...
> Коль много микроскоп нам тайности открыл
> Невидимых частиц и тонких в теле жил!

Теперь мы можем уже дать себе ясный отчет в том, почему именно микроскоп открывает нам «тайность», которую не усмотрел на своем чудовище-бабочке наблюдатель в рассказе Эдгара По: потому что — подведем итог сказанному — микроскоп не просто представляет нам предметы в увеличенном виде, а показывает их *под бóльшим углом зрения*; вследствие этого на задней стенке глаза рисуется *увеличенное изображение* предмета, действующее на более многочисленные нервные окончания и тем доставляющее нашему сознанию большее число отдельных зрительных впечатлений. Коротко говоря: микроскоп увеличивает не предметы, а их изображения на дне глаза [12]).

Зрительные самообманы

Мы часто говорим об «обмане зрения», «обмане слуха», но выражения эти неправильны. Обманов *чувств* нет. Философ Кант метко сказал по этому поводу: «Чувства не обманывают нас,— не потому, что они всегда правильно судят, а потому, что вовсе не судят».

Что же тогда обманывает нас при так называемых «обманах» чувств? Разумеется, то, что в данном случае *судит*; т. е. наш собственный мозг. Действительно, бóльшая часть обманов зрения зависит исключительно от того, что мы не только видим, но и бессознательно *рассуждаем*, причем невольно вводим себя в заблуждение. Это — обманы *суждения*, а не чувств.

Еще два тысячелетия назад древний поэт Лукреций писал:

Наши глаза познавать не умеют природу предметов.
А потому не навязывай им заблуждений рассудка.

Возьмем общеизвестный пример оптической иллюзии: левая фигура на рис. 129 кажется у́же, нежели правая, хотя обе ограничены строго одинаковыми квадратами. Причина кроется в том, что оценка *высоты* фигуры слева получается у нас как результат бессознательного сложения отдельных промежутков, и потому она кажется нам больше, чем равная ей ширина той



Рис. 129. Что шире: правая или левая фигура?

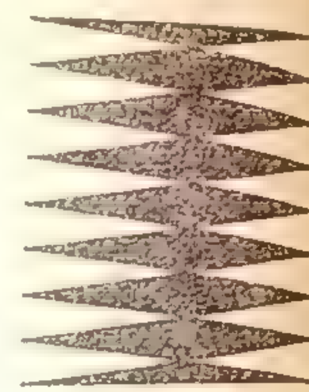


Рис. 130. Что больше в этой фигуре: высота или ширина?

же фигуры. Напротив, на фигуре справа в силу того же бессознательного рассуждения *ширина* кажется больше *высоты*. По этой же причине высота фигуры на рис. 130 кажется больше ее ширины [13]).

Иллюзия, полезная для портных

Если только что описанную иллюзию зрения вы пожелаете применить к более крупным фигурам, которые не могут быть охвачены сразу глазом, то ожидания ваши не оправдаются. Всем известно, что низкий полный человек в костюме с поперечными полосами кажется не только не тоньше, а напротив, еще шире. И наоборот, надев костюм с продольными полосами и складками, полные люди могут до некоторой степени скрывать свою полноту.

Чем объяснить это противоречие? Тем, что, рассматривая такой костюм, мы не можем охватить его сразу, не двигая глаз; мы невольно следуем глазами вдоль полос; усилие глазных мускулов при этом заставляет нас бессознательно преувеличивать размеры предмета в направлении полос; мы привыкли связывать с усилием глазных мышц представление о больших предметах, которые не

умещаются в поле зрения. Между тем, когда мы рассматриваем *маленький* полосатый чертеж, глаза наши остаются неподвижными и мускулы их не утомляются [14]).



Рис. 131. Какой эллипс больше: нижний или внутренний верхний?

Что больше?

Какой эллипс на рис. 131 больше: нижний или внутренний верхний? Трудно отделаться от мысли, что нижний больше верхнего. Между тем *оба равны*, и только присутствие наружного, окаймляющего эллипса создает иллюзию, будто заключенный в нем эллипс меньше нижнего. Иллюзия усиливается и тем, что вся фигура представляется нам не плоской, а объемной — в виде ведра: эллипсы невольно превращаются нами в перспективно сжатые круги, а боковые прямые линии — в стенки ведра.

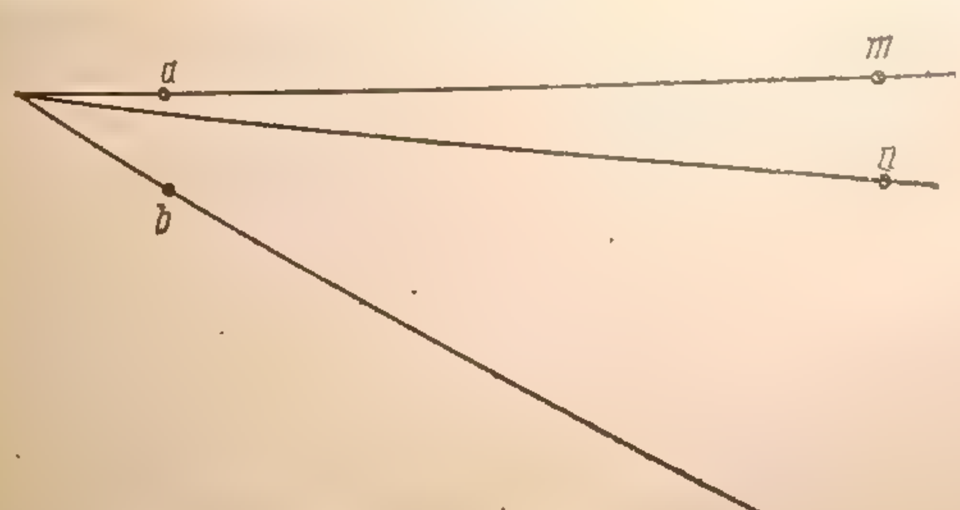


Рис. 132. Какое расстояние больше: *ab* или *mn*?

На рис. 132 расстояние между точками *a* и *b* кажется больше, нежели между точками *m* и *n*. Присутствие третьей прямой, исходящей из той же вершины, усиливает иллюзию.

Сила воображения

Большинство обманов зрения, как уже указывалось, зависит от того, что мы не только *смотрим*, но и бессознательно при этом *рассуждаем*. «Мы смотрим не глазами, а мозгом»,— говорят физиологи. Вы охотно согласитесь с этим, когда познакомитесь с иллюзиями, где воображение смотрящего *сознательно* участвует в процессе зрения.

Взгляните на рис. 133. Если вы станете показывать этот рисунок другим, то получите троякого рода ответы на вопрос, что он изображает. Одни скажут, что это лестница; другие — что это ниша, углубленная в стене;



Рис. 133. Что вы видите здесь: лестницу, нишу в стене или бумажную полоску, согнутую «гармоникой»?

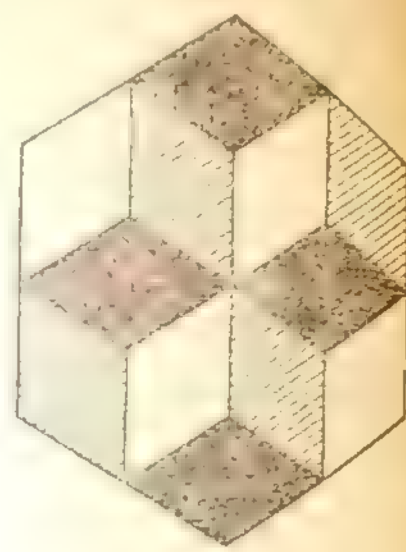


Рис. 134. Как расположены кубы? Где два куба: вверху или внизу?

третьи, наконец, увидят в нем бумажную полоску, согнутую «гармоникой» и протянутую наискось в белом поле квадрата.

Как ни странно, все три ответа верны! Вы можете сами увидеть все названные вещи, если, глядя на рисунок,



Рис. 135. Что длиннее: AB или AC?

направите свой взгляд различным образом. А именно: рассматривая чертеж, попробуйте прежде всего направить взор на левую часть рисунка,— вы увидите лестницу. Если взгляд ваш скользнет по рисунку справа налево,— вы увидите нишу. Если взгляд ваш следует по направлению диагонали от нижнего правого края к верхнему левому,— вы увидите сложенную «гармоникой» бумажную полоску [15]).

Впрочем, при продолжительном рассматривании внимание утомится, и вы будете видеть попеременно то одно, то другое, то третье, уже независимо от вашего желания. Рис. 134 отличается теми же особенностями.

Любопытна иллюзия рис. 135: мы невольно поддаемся впечатлению, будто расстояние AB короче AC. Между тем они равны.

Еще иллюзии зрения

Не все иллюзии зрения мы в состоянии объяснить. Часто и догадаться нельзя, какого рода умозаключения совершаются бессознательно в нашем мозгу и обусловливают тот или иной обман зрения. На рис. 136 отчетливо

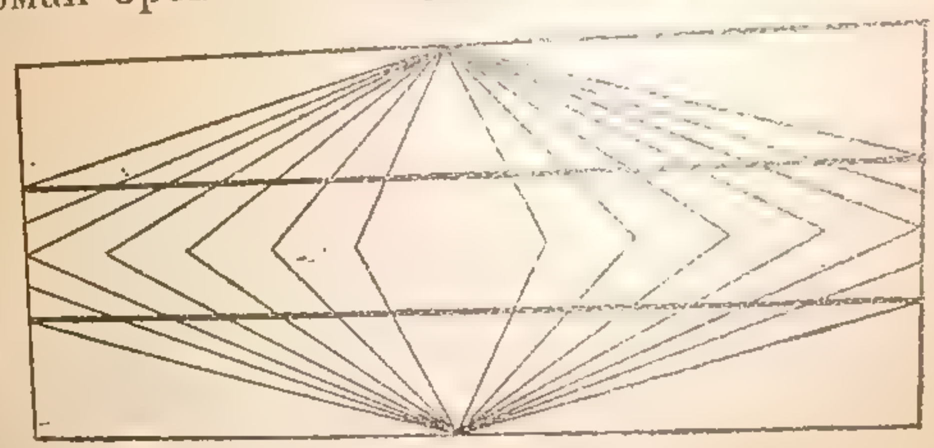


Рис. 136. Две средние параллельные линии кажутся дугами.

видны две дуги, обращенные выпуклостями друг к другу. Даже не возникает сомнения, что это так. Но стоит лишь приложить линейку к этим мнимым дугам или взглянуть

Рис. 137. На равные ли отрезки разделена эта прямая?



на них вдоль, держа фигуру на уровне глаз, чтобы убедиться в их прямолинейности. Объяснить эту иллюзию не так просто [16]). Иллюзия пропадает: 1) если, подняв фигуру на уровень глаз, смотреть на нее так, чтобы взгляд скользил вдоль линий; 2) если, поместив конец карандаша в какой-нибудь точке фигуры, сосредоточить взгляд на этой точке.

Укажем еще несколько примеров иллюзий в том же роде. На рис. 137 прямая кажется разбитой на неравные отрезки; измерение убедит вас, что отрезки равны. На рис. 138 и 139 параллельные прямые представляются непараллельными. На рис. 140 круг производит впечатление овала. Замечательно, что оптические иллюзии, показанные на рис. 137—139, перестают обманывать глаз, если их рассматривают при свете электрической искры.

Очевидно, иллюзии эти связаны с движением глаз; при кратковременной вспышке искры такое движение не успевает произойти.

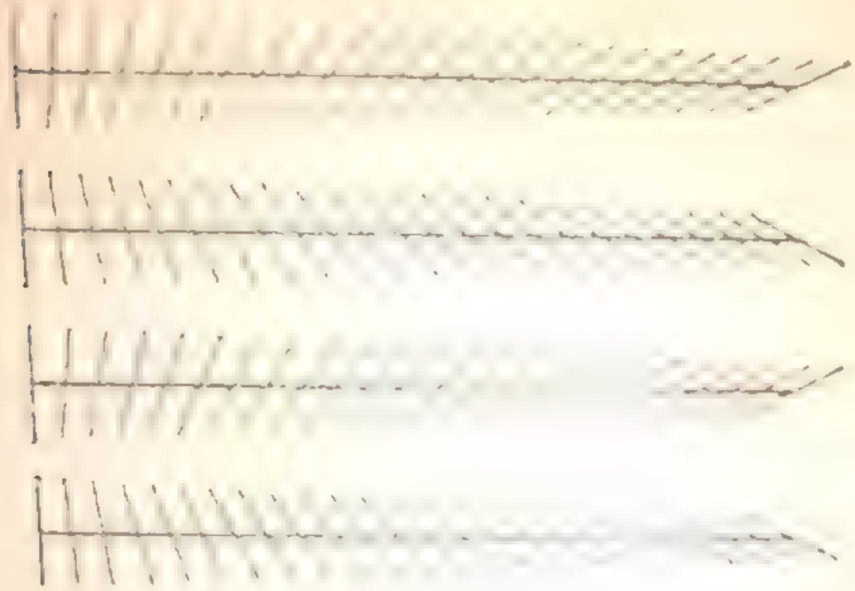


Рис. 138. Параллельные прямые кажутся непараллельными.

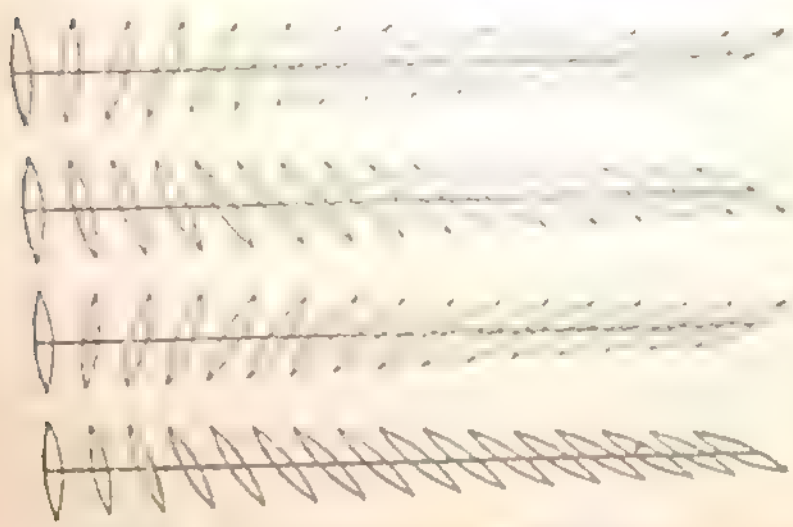


Рис. 139. Видоизменение иллюзии рис. 138.

Вот не менее любопытная иллюзия. Взгляните на рис. 141 и скажите: какие черточки длиннее,— те, что слева, или те, что справа? Первые кажутся более длинными, хотя те и другие строго равны *). Иллюзия эта носит название иллюзии «курительной трубки».

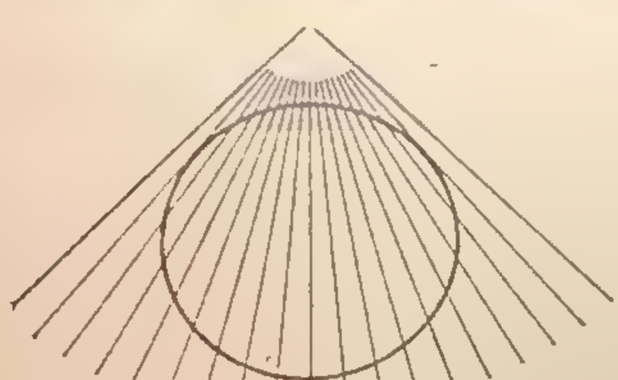


Рис. 140. Круг ли это?

Предлагалось много объяснений этих любопытных иллюзий, но они малоубедительны, и мы не станем приводить их здесь. Одно, по-видимому, несом-

---

*) Чертеж представляет собой, между прочим, иллюстрацию известного геометрического принципа Кавальери (площади, занятые обеими частями «курительной трубки», равны)



Рис. 141. Правые черточки кажутся короче, нежели равные им левые.

ненно: причина этих иллюзий кроется в бессознательном рассуждении, в невольном «лукавом мудрствовании» ума, мешающем нам видеть то, что есть в действительности *).

Что это?

При взгляде на рис. 142 вы едва ли сразу догадаетесь, что он изображает. «Просто черная сетка, не больше», — скажете вы. Но поставьте книгу отвесно на стол,

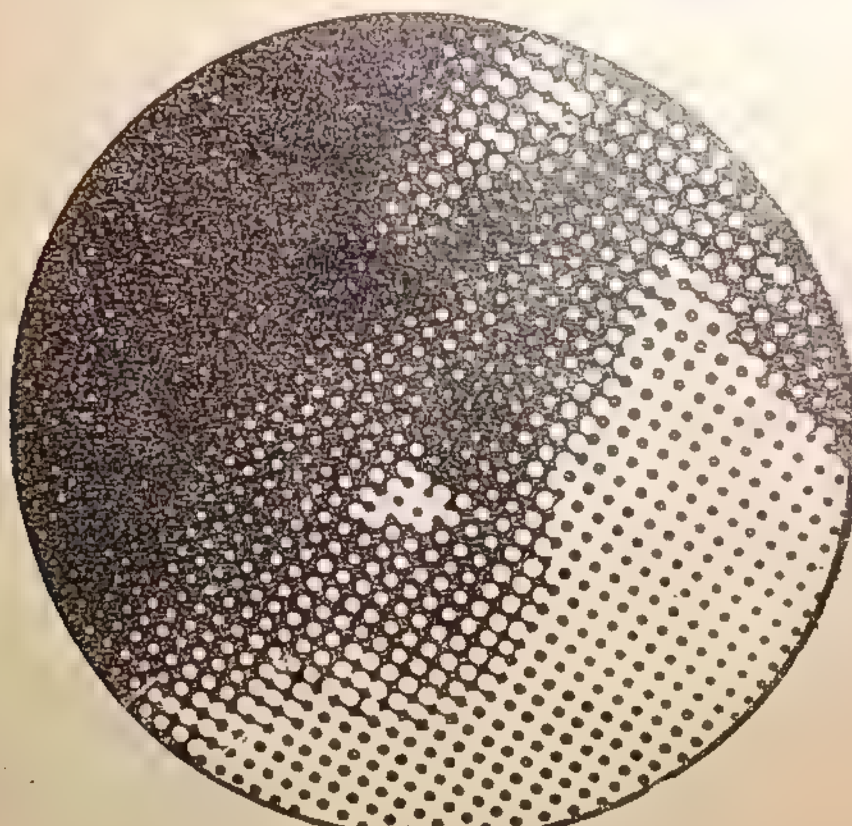


Рис. 142. Рассматривая эту сетку издали, легко различить на ней глаз.

отойдите шага на 3—4 и смотрите оттуда. Вы увидите человеческий *глаз*. Подойдите ближе, — перед вами снова появится ничего не выражающая сетка...

Вы, конечно, подумаете, что это какой-нибудь искусный «трюк» изобретательного гравера. Нет, это лишь гру-

*) Интересующихся зрительными иллюзиями позволю себе отослать к составленному мною маленькому альбому «Обманы зрения», где собрано свыше 60 образчиков разнообразных оптических иллюзий.

...вый пример той иллюзии зрения, которой мы поддаемся всякий раз, когда рассматриваем так называемые «тоновые» иллюстрации, или «автотипии». В книгах и журналах фон рисунка всегда кажется нам сплошным; но рассмотрите его в лупу, — и перед вами появится такая же сетка, какая изображена на рис. 142. Этот озадачивший вас рисунок представляет собой не что иное, как увеличенный раз в 10 участок обыкновенной тоновой иллюстрации. Разница лишь в том, что когда сетка мелка, она сливается в сплошной фон уже на том расстоянии, на том, на каком мы обыкновенно держим книгу при чтении. Когда же сетка крупна, слияние происходит на большем расстоянии. Читатель без труда поймет сказанное, если вспомнит наши рассуждения относительно угла зрения.

Необыкновенные колеса

Случалось ли вам следить сквозь щель забора или, еще лучше, на экране кино следить за спицами колес быстро движущейся повозки или автомобиля? Вероятно, вы замечали при этом странное явление: автомобиль мчится с головокружительной быстротой, колеса же едва вращаются, а то и вовсе не вращаются. Мало того: они вращаются иной раз даже в противоположном направлении!

Эта иллюзия зрения так необычайна, что приводит в недоумение всех, кто замечает ее впервые.

Объясняется она следующим образом. Следя за вращением колеса через щель в заборе (перемещая взгляд вдоль забора), мы видим колесные спицы не непрерывно, а через равные промежутки времени, так как доски забора каждое мгновение заслоняют их от нас. Точно так же и кинематографическая лента запечатлевает изображение колес с перерывами, в отдельные моменты (24 кадра в секунду).

Здесь возможны *три случая*, которые мы сейчас и рассмотрим один за другим.

1. За время перерыва между съемками колесо успевает сделать *целое число оборотов* — безразлично сколько, 2 или 20, только бы число это было целое. Тогда спицы колеса на новом снимке займут то же положение, что и на прежнем. В следующий промежуток колесо сделает опять *целое* число оборотов (величина промежутка и скорость автомобиля не изменяются), — и положение спиц остается прежнее. Видя все время одно и то же положение спиц,

мы заключаем, что колесо вовсе не вращается (средний столбец на рис. 143).

2. Колесо успевает за каждый промежуток сделать целое число оборотов и еще *часть оборота*, весьма небольшую (например, 45°, как в левом столбце на рис. 143). Наблюдая за сменой таких изображений, мы о целом числе оборотов не будем и догадываться, а увидим лишь медленное вращение колеса (каждый раз на небольшую долю оборота). В результате нам покажется, что, несмотря на быстрое перемещение автомобиля, колеса вращаются медленно.

3. В течение промежутка между съемками колесо делает *неполный оборот*, отличающийся от полного на небольшую долю (например, поворачивается на 315°, как в правом столбце на рис. 143). Тогда какая-либо определенная спица будет казаться вращающейся *в обратном направлении*. Это обманчивое впечатление будет до тех пор, пока колесо не изменит скорости вращения.

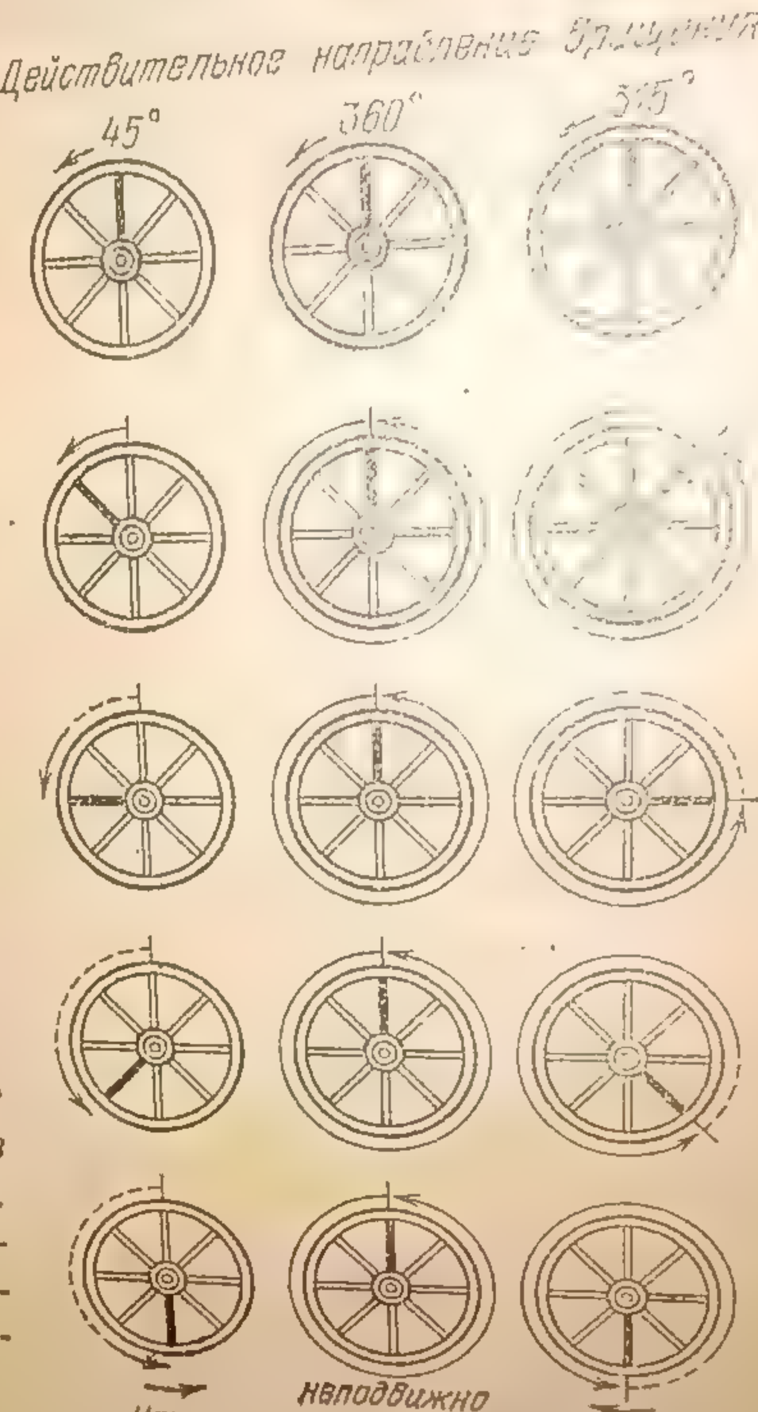


Рис. 143. Причина загадочного движения колес на экране кино.

Остается внести маленькие дополнения в наше объяснение. В первом случае мы, ради простоты, говорили о числе *полных оборотов* колеса; но так как спицы колеса похожи одна на другую, то достаточно, чтобы колесо повернулось на целое число *промежутков* между спицами.

То же относится и к другим случаям.

Возможны и еще курьезы. Если *на ободе* колеса имеется метка, спицы же все похожи друг на друга, то случается, что обод движется в одном направлении, спицы же

бегут *в обратном*! Если же имеется метка *на спице*, то спицы могут двигаться в обратном направлении, тогда как метка,— она будет словно перескакивать со спицы на спицу.

Когда в кино показывают обыкновенные сцены, иллюзия эта мало вредит естественности впечатления. Но если хотят на экране объяснить действие какого-нибудь механизма, то этот обман зрения может породить серьезные недоразумения и даже совершенно извратить представление о работе машины.

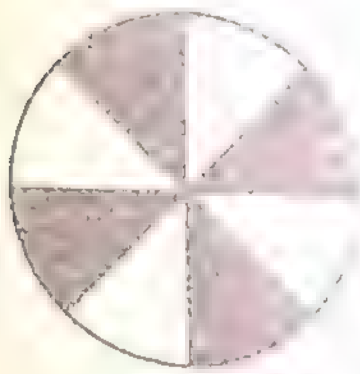


Рис. 144. Диск для определения скорости вращающегося вала.

Внимательный зритель, видя на экране почти неподвижное колесо мчащегося автомобиля, легко может, сосчитав его спицы, судить до некоторой степени о том, сколько оборотов делает оно в единицу времени. Обычная скорость подачи ленты — 24 кадра в секунду. Если число спиц автомобильного колеса 12, то число его оборотов в секунду равно 24 : 12, т. е. 2, или по одному целому обороту за 0,5 секунды. Это — наименьшее число оборотов; оно может быть и больше в целое число раз (т. е. вдвое, втрое и т. д.).

Оценив диаметр колеса, можно делать заключение и о скорости движения автомобиля. Например, при диаметре колеса 80 см имеем в рассмотренном случае скорость около 18 км/ч (36 км/ч, 54 км/ч и т. д.).

Рассмотренная сейчас иллюзия зрения используется в технике для подсчета числа оборотов быстро вращающихся валов. Объясним, на чем основан этот способ. Сила света лампы, питаемой переменным током, не остается постоянной: через каждую сотую долю секунды свет ослабевает, хотя при обычных условиях мы никакого мерцания не замечаем. Но представим себе, что таким светом освещен вращающийся диск, изображенный на рис. 144. Если диск вращается так, что делает четверть оборота в сотую долю секунды, то произойдет нечто неожиданное: вместо обычного ровного серого круга глаз увидит черные и белые секторы, словно бы диск оставался неподвижным.

Причина явления, надеюсь, понятна читателю, разобравшемуся в иллюзии с автомобильными колесами. Легко догадаться также, как можно применить это явление для определения числа оборотов двигателя.

«Микроскоп времени» в технике

В первой книге «Занимательная физика» описана «лупа времени», основанная на использовании киноаппарата. Здесь расскажем о другом способе достижения подобного эффекта, опирающемся на явление, которое было рассмотрено в предыдущей статье.

Мы знаем уже, что, когда диск с зачерненными секторами (рис. 144), делающий 25 об/с, освещается ежесекундно 100 вспышками лампы, он кажется глазу неподвижным. Представьте себе, однако, что число вспышек сделалось равным 101 в секунду. В течение промежутка между такими двумя последовательными учащенными вспышками диск не успеет повернуться, как прежде, на полную четверть оборота, и, значит, соответствующий сектор не дойдет до первоначального положения.

Глаз увидит его отставшим на сотую долю окружности. При следующей вспышке он покажется отставшим еще на сотую долю окружности и т. д. Нам покажется, что диск вращается *назад*, делая 1 об/с. Движение замедлилось в 25 раз.

Нетрудно сообразить, как можно увидеть то же замедленное вращение, но не в обратную сторону, а в нормальном направлении. Для этого нужно число вспышек света не увеличить, а *уменьшить*. Например, при 99 вспышках в секунду диск покажется вращающимся вперед, делая 1 об/с.

Мы имеем здесь «микроскоп времени» с 25-кратным замедлением. Но вполне возможно получить еще большее замедление. Если, например, число вспышек доведено до 999 за 10 секунд (т. е. 99,9 в секунду), диск будет казаться совершающим один оборот за 10 секунд; он имеет, значит, 250-кратное замедление.

Любое быстрое периодическое движение можно изложенным приемом замедлить для нашего глаза в желаемой степени. Это дает удобную возможность изучать особенности движения весьма быстрых механизмов, замедляя их движение нашим «микроскопом времени» в 100, в 1000 и т. д. раз[17]).

Опишем в заключение способ измерения скорости полета пули, основанный на возможности точно определять число оборотов быстро вращающегося диска. На быстро вращающийся вал надевают картонный диск, который имеет форму открытой цилиндрической коробки (рис. 145). Стрелок

пускает пулю вдоль диаметра этой коробки, пробивая ее стенку в двух местах. Если бы коробка была неподвижна, оба отверстия лежали бы на концах одного диаметра. Но коробка вращалась, и за то время, пока пуля летела от края до края, коробка успела немного повернуться,

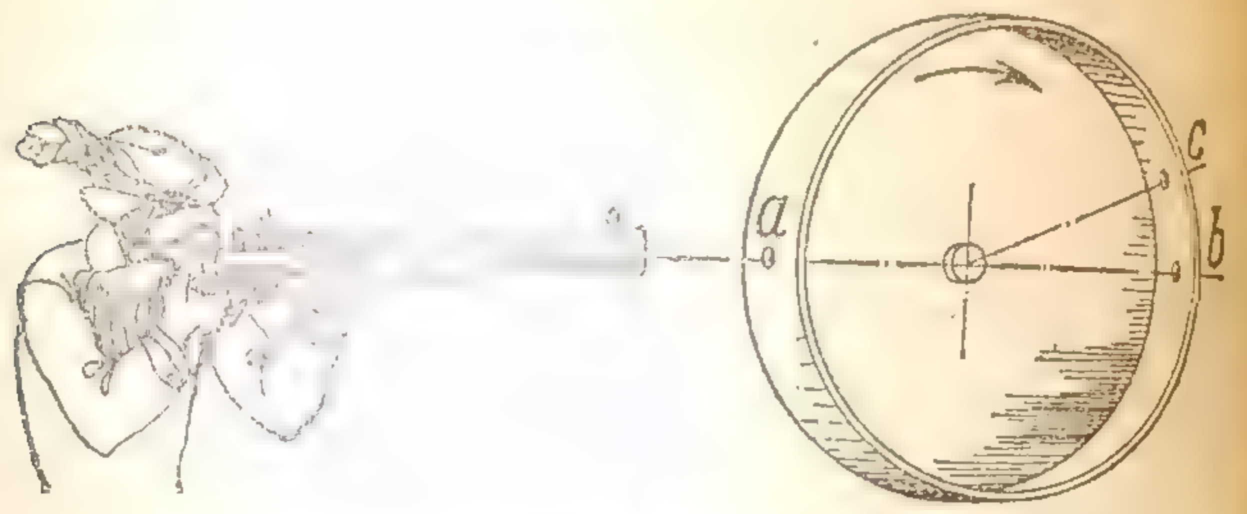


Рис. 145. [illegible] скорости полета пули.

подставив пуле взамен точки b точку c. Зная число оборотов коробки и ее диаметр, можно по длине дуги bc вычислить скорость движения пули. Это — несложная геометрическая задача, с которой без труда справятся читатели, немного владеющие математикой [18]).

Диск Нипкова

Замечательное техническое применение обмана зрения представлял так называемый «диск Нипкова», употреблявшийся в первых телевизионных установках. На рис. 146 вы видите сплошной диск, у краев которого разбросана дюжина дырочек с просветом 2 мм; дырочки расположены равномерно по спиральной линии, каждая на размер просвета ближе к центру, чем соседняя. Такой диск не обещает как будто ничего особенного. Но установите его на оси, устройте перед ним окошечко, а позади поместите таких же размеров картинку (рис. 147). Если теперь привести диск в быстрое вращение, то произойдет неожиданное явление: картинка, заслоняемая неподвижным диском, становится при его вращении отчетливо видимой в переднее окошечко. Замедлите вращение — картинка сделается смутной и, наконец, при остановке диска исчезает совершенно; теперь от картинки остается видимым лишь то, что можно рассмотреть сквозь крошечную двухмиллиметровую дырочку.

Разберемся, в чем секрет загадочного эффекта этого диска. Будем вращать диск медленно и проследим за прохождением последовательно каждой отдельной дырочки

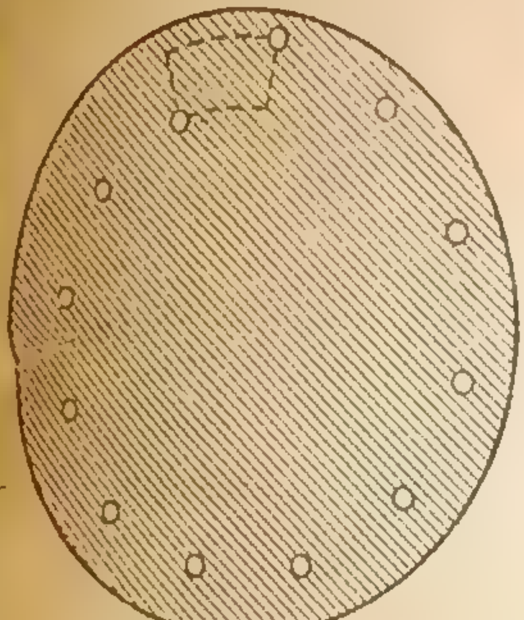


Рис. 146. Диск Нипкова.

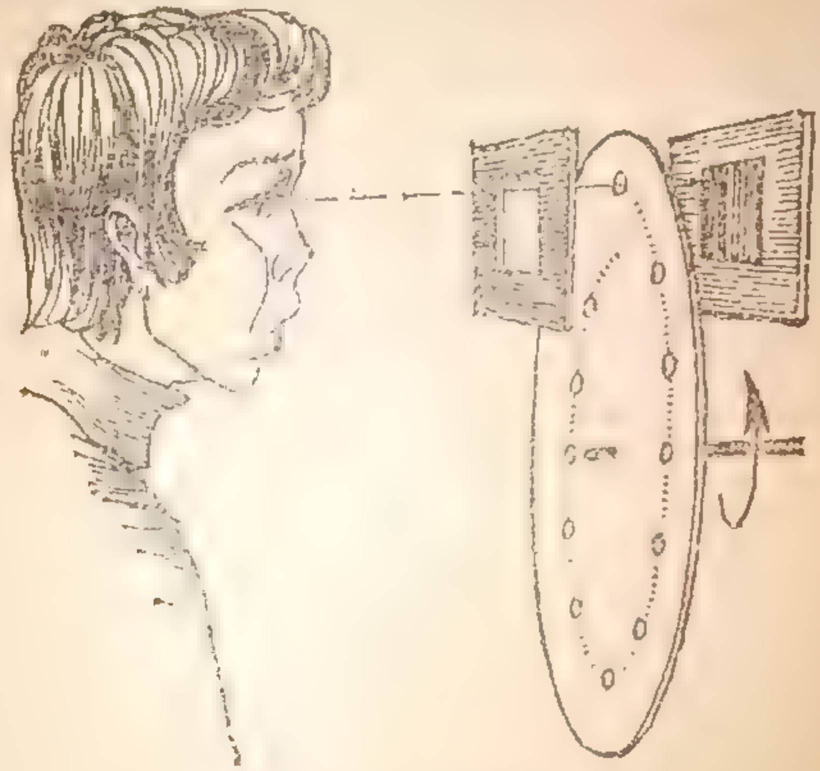


Рис. 147. Картинка при вращении диска становится видимой.

мимо окошечка. Самая удаленная от центра дырочка проходит близ верхнего края окошечка; если это движение быстро, она сделает видимой целую полоску картинки, прилегающую к ее верхнему краю. Следующая дырочка, пониже первой, при быстром прохождении в поле окошечка откроет вторую полоску картинки, смежную с первой (рис. 148); третья дырочка сделает видимой третью полоску, и т. д. При достаточно быстром вращении диска становится, благодаря этому, видимой вся картинка; против окошечка словно вырезается из диска соответствующее отверстие [16]).

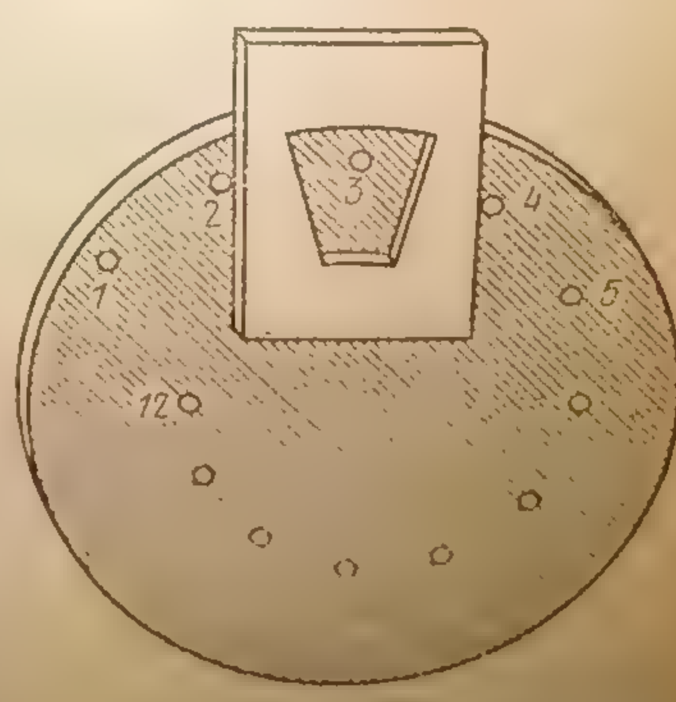


Рис. 148. При быстром вращении из диска словно вырезается отверстие.

Диск Нипкова нетрудно изготовить самому; для быстрого его вращения можно пользоваться намотанным на его ось шнурком,— лучше, конечно, воспользоваться маленьким электромотором.

Почему заяц косой?

Человек — одно из немногих существ, глаза которых приспособлены к одновременному рассматриванию какого-нибудь предмета: поле зрения правого глаза лишь немного не совпадает с полем зрения левого глаза. Большинство же животных смотрит каждым глазом отдельно. Видимые ими предметы не отличаются той рельефностью, к которой мы привыкли, но зато их поле зрения гораздо обширнее, чем у нас.



Рис. 149. Поле зрения обоих глаз человека.

На рис. 149 изображено поле зрения человека: каждый глаз видит — по горизонтальному направлению — в пределах угла в 120°, и оба угла почти покрывают друг друга (глаза предполагаются неподвижными).

Сравните этот чертеж с рис. 150, изображающим поле зрения зайца; не поворачивая головы, заяц своими ши-



Рис. 150. Поле зрения обоих глаз зайца.

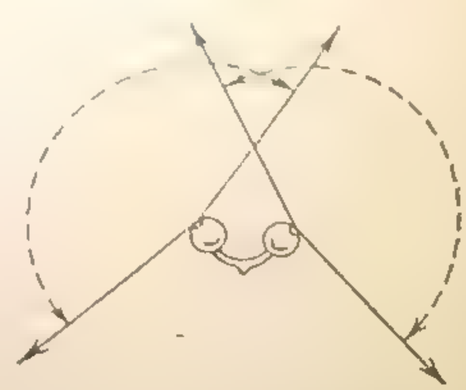


Рис. 151. Поле зрения обоих глаз лошади.

роко расставленными глазами видит не только то, что находится впереди, *но и то, что позади.* Оба поля зрения его глаза смыкаются и спереди и сзади! Теперь вам понятно, почему так трудно подкрасться к зайцу, не спугнув его. Зато заяц, как ясно из чертежа, совершенно не видит того, что расположено *непосредственно* пе-

ред его мордой; ему приходится, чтобы видеть весьма близкий предмет, поворачивать голову набок. Почти все без исключения копытные и жвачные животные обладают такой способностью «всестороннего» зрения.

На рис. 151 показано расположение полей зрения лошади: они сзади не сходятся, но животному достаточно лишь слегка повернуть голову, чтобы увидеть предметы, расположенные позади. Зрительные образы здесь, правда, не так отчетливы, но зато от животного не ускользает ни малейшее движение, совершающееся далеко кругом. Подвижные хищные животные, которым приходится обычно самим быть нападающей стороной, лишены этой способности видеть кругом себя; они обладают «двуглазым» зрением, позволяющим зато точно оценивать расстояние для прыжка.

Почему в темноте все кошки серы?

Физик сказал бы: «в темноте все кошки *черны*», потому что при отсутствии освещения никакие предметы не видны вовсе. Но поговорка имеет в виду не полный мрак, а темноту в обиходном смысле слова, т. е. весьма слабое освещение. Совсем точно поговорка звучит так: ночью все кошки серы. Первоначальный, непереносный смысл поговорки тот, что при недостаточном освещении глаз наш перестает различать окраску — каждая поверхность кажется серой[20]).

Верно ли это? Действительно ли в полутьме и красный флаг и зеленая листва представляются одинаково серыми? Легко убедиться в правильности этого утверждения. Кто в сумерки приглядывался к окраске предметов, тот замечал, конечно, что цветовые различия стираются и все вещи кажутся более или менее темно-серыми: и красное одеяло, и синие обои, и фиолетовые цветы, и зеленые листья.

«Сквозь опущенные шторы,— читаем мы у Чехова («Письмо»),— сюда не проникали солнечные лучи, было сумеречно, так что все розы в большом букете казались одного цвета».

Точные физические опыты вполне подтверждают это наблюдение. Если окрашенную поверхность освещать слабым белым светом (или белую поверхность — слабым окрашенным светом), постепенно усиливая освещение, то

глаз сначала видит просто серый цвет, без какого-либо цветового оттенка. И лишь когда освещение усиливается до определенной степени, глаз начинает замечать, что поверхность окрашена. Эта степень освещения называется «низшим порогом цветового ощущения».

Итак, буквальный и вполне правильный смысл поговорки (существующей на многих языках) тот, что ниже порога цветового ощущения все предметы кажутся серыми.

Обнаружено, что существует и «высший порог цветового ощущения». При чрезвычайно ярком освещении глаз снова перестает различать цветовые оттенки: все окрашенные поверхности кажутся одинаково *белыми*.

Существуют ли лучи холода?

Распространено мнение, будто наряду с лучами греющими существуют и лучи холодящие, лучи холода. На мысль о них [illegible], например, факт, что кусок льда распространяет вокруг себя холод совершенно так же, как печка создает вокруг себя теплоту. Разве не говорит это о том, что от льда исходят лучи холода, как от печки исходят греющие лучи?

Нет, подобное толкование ошибочно. Лучей холода не существует. Предметы в соседстве со льдом становятся холоднее не под действием «лучей холода», а потому, что они теряют путем лучеиспускания больше тепла, чем получают от льда. И теплый предмет, и холодный лед испускают путем излучения теплоту; предмет, нагретый сильнее, чем лед, отдает теплоты больше, чем получает. Приход тепла меньше расхода,— и предмет охлаждается.

Существует эффектный опыт, который также может навести на мысль о лучах холода. У двух противоположных стен длинного зала устанавливаются большие вогнутые зеркала. Если близ одного зеркала, в так называемом фокусе его, поместить сильный источник тепла, то испускаемые им лучи, отразившись от зеркала, направляются ко второму зеркалу, вновь отражаются и собираются им в одной точке — в фокусе; темная бумага, помещенная в этой точке, загорается. Это наглядно свидетельствует о существовании греющих лучей. Но если, вместо источника тепла, поместить в фокусе первого зеркала кусок льда, то окажется, что термометр, находящий-

ся в фокусе второго зеркала, обнаружит здесь холод. Не значит ли это, что лед испускает холодные лучи, отражающиеся от зеркал и собирающиеся на шарике термометра?

Нет, и в этом случае можно объяснить явление без таинственных лучей холода. Шарик термометра путем излучения отдает льду больше теплоты, чем сам получает от льда; поэтому ртуть в нем охлаждается. Итак, здесь также нет причины допускать существование холодящих лучей. Никаких лучей холода в природе нет: все виды лучей сообщают энергию, а не отнимают ее.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ЗВУК. ВОЛНООБРАЗНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Звук и радиоволны

Звук распространяется примерно в миллион раз медленнее света; а так как скорость радиоволн совпадает со скоростью распространения световых колебаний, то звук в миллион раз медленнее радиосигнала. Отсюда вытекает любопытное следствие, сущность которого выясняется задачей: кто раньше услышит первый аккорд пианиста, посетитель концертного зала, сидящий в 10 метрах от рояля, или радиослушатель у аппарата, принимающий игру пианиста у себя на квартире, в 100 километрах от зала?

Как ни странно, радиослушатель услышит аккорд раньше, чем посетитель концертного зала, хотя первый сидит в 10 000 раз дальше от музыкального инструмента. В самом деле: радиоволны пробегают 100-километровое расстояние за

$$\frac{100}{300\,000}=\frac{1}{3000}\text{ секунды.}$$

Звук же проходит 10-метровое расстояние за

$$\frac{10}{340}=\frac{1}{34}\text{ секунды.}$$

Отсюда видно, что передача звука по радио потребует почти в сто раз меньше времени, чем передача звука через воздух.

Звук и пуля

Когда пассажиры жюль-вернова снаряда полетели на Луну, они были озадачены тем, что не слышали звука выстрела колоссальной пушки, извергнувшей их из своего жерла. Иначе и быть не могло. Как бы оглушителен ни был грохот, скорость распространения его (как и

вообще всякого звука в воздухе) равнялась всего лишь 340 м/с, снаряд же двигался со скоростью 11 000 м/с. Понятно, что звук выстрела не мог достичь ушей пассажиров: снаряд обогнал звук [1]).

А как обстоит дело с настоящими снарядами и пулями: движутся ли они быстрее звука или, напротив, звук перегоняет их и предупреждает жертву о приближении смертоносного снаряда?

Современные винтовки сообщают пулям при выстреле скорость, почти втрое большую, чем скорость звука в воздухе — именно около 900 м/с (скорость звука при 0 °С равна 332 м/с). Правда, звук распространяется равномерно, пуля же летит, замедляя скорость своего полета. Однако в течение большей части пути пуля все же движется быстрее звука. Отсюда прямо следует, что если во время перестрелки вы слышите звук выстрела или свист пули, то можете не беспокоиться: *эта пуля вас уже миновала.* Пуля перегоняет звук выстрела, и если пуля поразит свою жертву, то последняя будет убита раньше, чем звук выстрела, которым послана эта пуля, достигнет ее уха.

Мнимый взрыв

Состязание в скорости между летящим телом и производимым им звуком заставляет нас иногда невольно делать ошибочные заключения, подчас совершенно не отвечающие истинной картине явления.

Любопытный пример представляет болид (или пушечный снаряд), пролетающий высоко над нашей головой. Болиды, проникающие в атмосферу нашей планеты из мирового пространства, обладают огромной скоростью, которая, даже будучи уменьшена сопротивлением атмосферы, все же *в десятки раз* больше скорости звука.

Прорезая воздух, болиды нередко производят шум, напоминающий гром. Вообразите, что мы находимся в точке C (рис. 152), а вверху над нами по линии AB летит болид. Звук, производимый болидом в точке A, дойдет до нас (в C) только тогда, когда сам болид успеет уже переместиться в точку B; так как болид летит гораздо быстрее звука, то он может успеть дойти до некоторой точки D и отсюда послать нам звук раньше, чем дойдет до нас звук из точки A. Поэтому мы услышим сначала звук из точки D и лишь потом звук из точки A. И так как из точки B звук придет к нам тоже позже, чем из точки D, то где-то

над нашей головой должна быть такая точка K, находясь в которой болид подает свой звуковой сигнал раньше всего. Любители математики могут вычислить положение этой точки, если зададутся определенным отношением скорости болида и звука.

Вот результат: то, что мы *услышим*, будет вовсе не похоже на то, что мы *увидим*. Для глаза болид появится прежде всего в точке A и отсюда пролетит по линии AB.

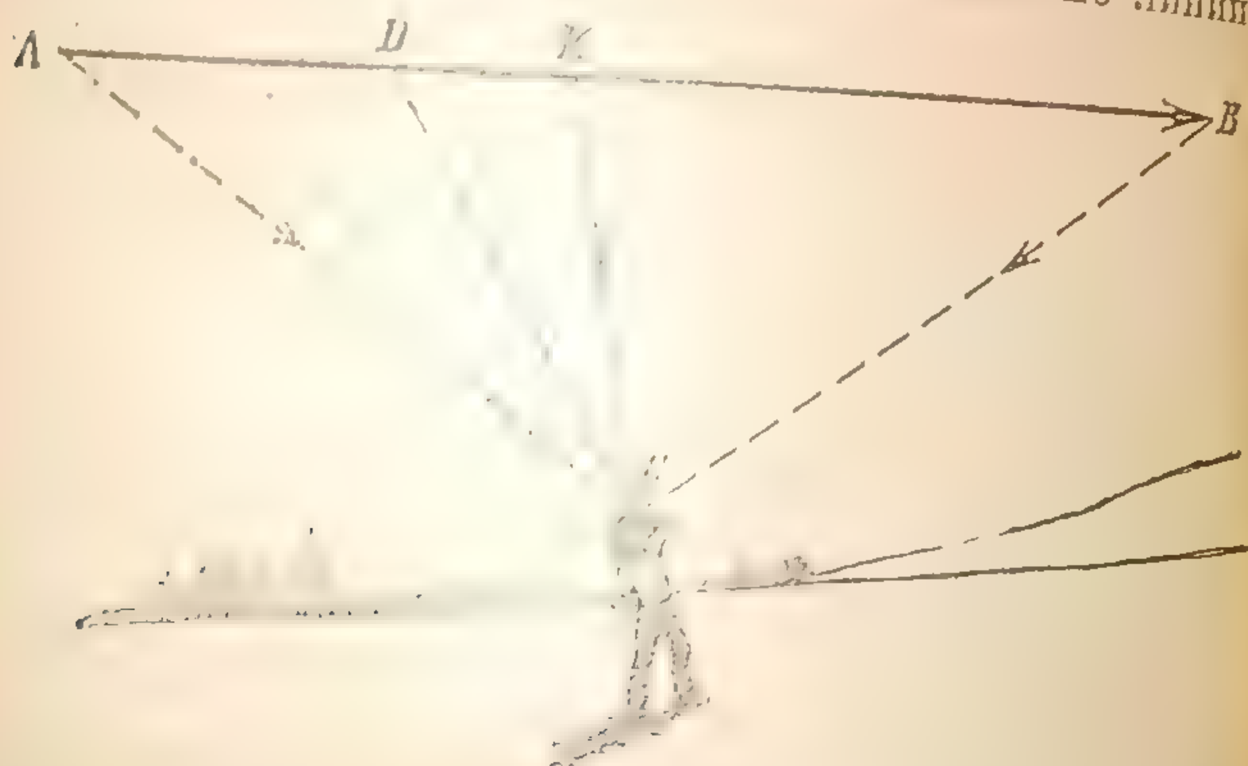


Рис. 152. Мнимый взрыв болида.

Но для уха болид появится прежде всего где-то над нашей головой в точке K, затем мы услышим в одно время два звука, затихающие по противоположным направлениям: от K к A и от K к B. Другими словами, мы услышим, как болид словно распался на две части, которые унеслись в противоположные стороны. Между тем в действительности никакого взрыва не происходило. Вот до чего обманчивы могут быть слуховые впечатления! Возможно, что многие засвидетельствованные «очевидцами» взрывы болидов — именно такого рода обманы слуха.

Если бы скорость звука уменьшилась...

Если бы звук распространялся в воздухе не со скоростью 340 м/с, а гораздо медленнее, то обманчивые слуховые впечатления наблюдались бы гораздо чаще.

Вообразите, например, что звук пробегает в секунду не 340 м, а, скажем, 340 мм, т. е. движется медленнее пешехода. Сидя в кресле, вы слушаете рассказ вашего

знакомого, который имеет привычку говорить, расхаживая взад и вперед по комнате. При обыкновенных обстоятельствах это расхаживание нисколько не мешает вам слушать; но при уменьшенной скорости звука вы ровно ничего не поймете из речи вашего гостя: звуки, прежде произнесенные, будут догонять новые и перемешиваться с ними,— получится путаница звуков, лишенная всякого смысла.

Между прочим, в те моменты, когда гость к вам приближается, звуки его слов будут достигать вас *в обратном порядке*: сначала достигнут вас звуки, только что произнесенные, потом звуки, произнесенные ранее, затем — еще ранее и т. д., потому что произносящий обгоняет свои звуки и находится все время впереди их, продолжая издавать новые. Из всех фраз, произнесенных при подобных условиях, вы могли бы понять разве только ту, которой великовозрастный бурсак некогда изумил юного Карася из «Очерков бурсы» Помяловского *):

«Я иду с мечом, судия».

Самый медленный разговор

Если вы думаете, однако, что истинная скорость звука в воздухе — треть километра в секунду — достаточно велика, то сейчас измените свое мнение.

Вообразите, что между Москвой и Ленинградом вместо электрического телефона устроена обыкновенная переговорная труба вроде тех телефонов, которыми соединяли раньше отдельные помещения больших магазинов или которой пользовались на пароходах для сообщения с машинным отделением. Вы стоите у ленинградского конца этой 650-километровой трубы, а ваш друг — у московского. Задаете вопрос и ожидаете ответ. Проходит пять, десять, пятнадцать минут,— ответа нет. Вы начинаете беспокоиться и думаете, что с собеседником случилось несчастье. Но опасения напрасны: вопрос *еще не дошел до Москвы* и находится теперь только на половине пути. Пройдет еще четверть часа, прежде чем ваш знакомый в Москве услышит вопрос и сможет дать ответ. Но и его реплика будет идти из Москвы в Ленинград не менее получаса, так что ответ на свой вопрос вы получите только спустя час.

*) Строго говоря, это не вполне верно: мы произносим в один прием не отдельные буквы, а целые слоги. Фраза будет слышна приблизительно так: я ди-су м-чо-мес ду-и-я.

Можете проверить расчет: от Ленинграда до Москвы 650 км; звук проходит в секунду 1/3 км; значит, расстояние между городами он пробежит за 2160 с лишним секунд, или за 35 минут с небольшим. При таких условиях, разговаривая целый день с утра до вечера, вы едва успеете обменяться десятком фраз [2]).

Скорейшим путем

Было, впрочем, время, когда даже и такой способ передачи известий считался бы очень быстрым. Сто лет назад никто не мечтал об электрическом телеграфе и телефоне, и передача новости за 650 км в течение нескольких часов признавалась бы идеалом быстроты.

Рассказывают, что при короновании царя Павла I извещение о моменте начала церемонии в Москве было передано в северную столицу следующим образом. Вдоль всего пути между обеими столицами были расставлены солдаты, в 200 м один от другого; при первом ударе колокола собора ближайший солдат выстрелил в воздух; его сосед, услышав сигнал, также немедленно разрядил ружье, за ним стрелял третий часовой, — и таким образом сигнал был передан в Петербург в течение всего трех часов. Спустя три часа после первого удара московского колокола уже грохотали пушки Петропавловской крепости, на расстоянии в 650 км.

Если бы звон московских колоколов можно было непосредственно услышать в Петербурге, то звук, как мы уже знаем, пришел бы в северную столицу с опозданием всего на полчаса. Значит, из трех часов, употребленных на передачу сигнала, 2,5 часа ушло на то, что солдаты воспринимали звуковое впечатление и делали необходимые для выстрела движения; как ни ничтожно это промедление, все же из тысяч таких маленьких промежутков накопилось 2,5 часа.

Сходным образом действовал в старину оптический телеграф, передававший световые сигналы до ближайшей станции, которая в свою очередь передавала их далее. Системой световой передачи сигналов нередко пользовались в царское время революционеры для охраны собраний подпольщиков: цепь революционеров протягивалась от места собрания до помещения полиции и при первых тревожных признаках давала об этом знать собранию вспышками карманных электрических фонариков.

Барабанный телеграф

Передача известий посредством звуковых сигналов распространена у некоторых племен Африки, Центральной Америки и Полинезии. Первобытные племена употребляют для этой цели особые барабаны, с помощью которых передают звуковые сигналы на огромное расстояние: условный сигнал, услышанный в одном месте, повторяется



Рис. 153. Туземец, переговаривающийся с помощью барабанного «телеграфа».

в другом, передается таким же образом далее, — и в короткое время обширная область уведомляется о каком-либо важном событии (рис. 153).

Во время первой войны Италии с Абиссинией все передвижения итальянских войск быстро становились известными негусу Менелику; обстоятельство это приводило в недоумение итальянский штаб, не подозревавший о существовании у противника барабанного «телеграфа».

В начале второй войны Италии с Абиссинией подобным же образом был «опубликован» изданный в Аддис-Абебе приказ о всеобщей мобилизации: через несколько часов он стал известен в самых отдаленных селениях страны.

То же самое наблюдалось и во время англо-бурской войны: благодаря «телеграфу» кафров все военные известия с необыкновенной быстротой распространялись среди обитателей Капланда, на несколько суток опережая официальные донесения через курьеров.

По свидетельству путешественников (Лео Фробениус), система звуковых сигналов разработана у некоторых африканских племен так хорошо, что их можно считать обладателями телеграфа, более совершенного, чем оптический телеграф европейцев, предшествовавший электрическому.

Вот что сообщалось об этом в одном журнале. Р. Гасельден, археолог Британского музея, находился в городе Ибада, расположенном в глубине Нигерии. Постоянный глухой барабанный бой непрерывно гудел днем и ночью. Однажды утром ученый услышал, что черные о чем-то оживленно переговариваются. На его расспросы один сержант ответил: «Большой корабль белых людей потонул; много белых погибло». Таково было известие, сообщенное на барабанном языке с побережья. Ученый не придал этому слуху никакого значения. Однако через три дня он получил запоздавшую (вследствие перерыва сообщения) телеграмму о гибели «Лузитании». Тогда он понял, что негритянское известие было верно и что оно «прогремело» на барабанном языке через все земли от Каира до Ибады. Это было тем более удивительно, что племена, передавшие друг другу это сообщение, говорят на совершенно различных наречиях и некоторые из них в это время вели войны друг с другом.

Звуковые облака и воздушное эхо

Звук может отражаться не только от твердых преград, но и от таких образований, как облака. Более того, даже совершенно прозрачный воздух может при некоторых условиях отражать звуковые волны,— именно в том случае, когда он, по способности проводить звук, отличается почему-либо от остальной массы воздуха. Здесь происходит явление, сходное с тем, что в оптике называется «полным внутренним отражением». Звук отражается от невидимого препятствия, и мы слышим загадочное эхо, идущее неизвестно откуда.

Тиндаль случайно открыл этот любопытный факт, когда производил опыты с звуковыми сигналами на берегу моря. «От совершенно прозрачного воздуха получалось эхо,— пишет он.— Эхо шло к нам, словно по волшебству, от невидимых звуковых облаков» [3]).

Звуковыми облаками знаменитый английский физик называл те участки прозрачного воздуха, которые застав-

ляют звук отражаться, порождая «эхо от воздуха». Вот что говорит он по этому поводу:

«Звуковые облака постоянно плавают в воздухе. Они не имеют ни малейшего отношения к обыкновенным облакам, к туману или мгле. Самая прозрачная атмосфера может быть полна ими. Таким образом могут получаться воздушные эхо; вопреки господствующему мнению, они могут происходить и при самой ясной атмосфере. Существование таких воздушных эхо доказано наблюдениями и опытом. Они могут порождаться воздушными токами, различно нагретыми или содержащими различное количество пара».

Существование звуковых облаков, непрозрачных для звука, объясняет нам некоторые загадочные явления, иногда наблюдаемые во время сражений. Тиндаль приводит следующий отрывок из воспоминаний очевидца о франко-прусской войне 1871 г.:

«Утро 6-го числа представляло полную противоположность с вчерашним утром. Вчера был пронизывающий холод и туман, не позволявший ничего видеть далее полумили. А 6-го было ясно, светло и тепло. Вчера воздух был наполнен звуками, а сегодня царствовала тишина Аркадии, не знающей войны. Мы с изумлением смотрели друг на друга. Неужели бесследно исчез Париж, его форты, орудия, бомбардировка?.. Я поехал в Монморанси, откуда моим глазам открылась обширная панорама северной стороны Парижа. Однако и здесь была мертвая тишина... Я встретил трех солдат, и мы начали обсуждать положение вещей. Они готовы были допустить, что начались переговоры о мире, так как с самого утра не слышали ни одного выстрела...

Я отправился дальше в Гонесс. С изумлением узнал я, что германские батареи энергично стреляли с 8 часов утра. На южной стороне бомбардировка началась около того же часа. Однако в Монморанси мы не слышали ни единого звука! . . . Все это зависело от воздуха: сегодня он проводил звук так же дурно, как хорошо проводил вчера».

Сходные явления не раз наблюдались и во время больших сражений 1914—1918 гг.

Беззвучные звуки

Есть люди, которые не слышат таких резких звуков, как пение сверчка или писк летучей мыши. Люди эти не глухи,— их органы слуха в исправности, и все же они не слышат очень высоких тонов. Тиндаль — знаменитый английский физик — утверждал, что некоторые люди не слышат даже чириканья воробья!

Вообще наше ухо воспринимает далеко не все колебания, происходящие близ нас. Если тело совершает в секунду менее 16 колебаний, мы звука не слышим. Если оно

совершает более 15—22 тысяч колебаний, мы тоже не слышим его. Верхняя граница восприятия тонов у разных лиц различна; у пожилых людей она понижается до 6 тысяч колебаний в секунду. Поэтому и происходит то странное явление, что пронзительный высокий тон, отчетливо слышимый одним лицом, для другого не существует.

Многие насекомые (например, комар, сверчок) издают звуки, тон которых отвечает 20 тысячам колебаний в секунду; для одних ушей эти тона существуют, для других — нет. Такие нечувствительные к высоким тонам люди наслаждаются полной тишиной там, где другие слышат целый хаос пронзительных звуков. Тиндаль рассказывает, что наблюдал однажды подобный случай во время прогулки в Швейцарии со своим другом: «Луга по обеим сторонам дороги кишели насекомыми, которые для моего слуха наполняли воздух своим резким жужжанием, но мой друг ничего этого не слышал: музыка насекомых лежала вне границы его слуха».

Писк летучей мыши целой октавой ниже пронзительного пения насекомых, т. е. колебания воздуха при этом вдвое менее часты. Но попадаются люди, для которых граница восприятия тонов лежит еще ниже, и летучие мыши для них — существа безгласные.

Напротив, собаки, как было установлено в лаборатории Павлова, воспринимают тона с числом колебаний до 38 тысяч в секунду.

Ультразвуки на службе техники

Физика и техника наших дней обладают средством создавать «беззвучные звуки» гораздо большей частоты, чем те, о которых мы сейчас говорили: число колебаний может достигать в этих «сверхзвуках» («ультразвуках») до 700 тысяч в секунду. Такой «тон» примерно на 18 октав выше самого высокого «ля» рояля, — тона, имеющего 3480 колебаний в секунду [4]).

Один из способов получения ультразвуковых колебаний основан на свойстве поверхностей пластинок, определенным образом вырезанных из кристалла кварца, при сжатии электризоваться *); если же, наоборот, заряжать периодически поверхности такой пластинки, то под действием электрических зарядов она попеременно сжимается

*) Это свойство кристаллов называется пьезоэлектричеством.

и расширяется, т. е. колеблется: получаются ультразвуковые колебания. Заряжают же пластинку с помощью лампового генератора, частота которого подбирается в соответствии с так называемым «собственным» периодом колебаний пластинки [5]).

Хотя ультразвуки безмолвны для нас, они обнаруживают свое действие иными, весьма ощутимыми проявлениями. Если, например, колеблющуюся пластинку погрузить в сосуд с маслом, то на поверхности жидкости, охваченной ультразвуковыми колебаниями, вспучивается горка высотой 10 см, а масляные капельки разбрызгиваются до высоты 40 см. Погрузив в такую масляную ванну конец стеклянной трубки длиной 1 м, мы ощутим в руке, держащей другой конец, сильнейший ожог, оставляющий следы на коже. Соприкасаясь с деревом, конец трубки, находящийся в состоянии колебания, прожигает отверстие; энергия ультразвуков превращается в тепловую.

Ультразвуковые колебания оказывают сильное действие на живой организм: нити водорослей разрываются, животные клеточки лопаются, кровяные тельца разрушаются; мелкие рыбы и лягушки умерщвляются ультразвуками за 1—2 минуты; температура тела испытуемых животных повышается,— у мыши, например, до 45 °C. Ультразвуковые колебания находят себе применение в медицине; неслышные ультразвуки разделяют судьбу невидимых ультрафиолетовых лучей, придя на помощь врачеванию.

Особенно успешно применяются ультразвуки в металлургии для обнаружения неоднородностей, раковин, трещин и других недостатков в толще металла. Метод «просвечивания» металла ультразвуком состоит в том, что испытуемый металл смачивают маслом и подвергают действию ультразвуковых колебаний. Звук рассеивается неоднородными участками металла, которые отбрасывают как бы звуковую тень; очертание неоднородностей так четко вырисовывается на фоне равномерной ряби, покрывающей масляный слой, что получающуюся картину можно даже сфотографировать [6]).

«Просветить» ультразвуком можно металлическую толщу в целый метр и более, что совершенно недоступно для рентгеновского просвечивания; при этом обнаруживаются неоднородности весьма мелкие — до одного миллиметра. Несомненно, что перед сверхзвуковыми колебаниями большая перспектива [7]).

Голоса лилипутов и Гулливера

В фильме «Новый Гулливер» лилипуты говорят высокими голосами, соответствующими маленьким размерам их гортани, а великан — Петя — низким голосом. При съемке говорили за лилипутов взрослые артисты, а Петю играл ребенок; как же было достигнуто требуемое изменение в тоне голоса? Я был немало удивлен, когда режиссер Птушко сказал мне, что исполнители говорили на съемке своими естественными голосами; изменение же тона достигалось в процессе съемки оригинальным приемом, основанным на физических особенностях звука.

Чтобы сделать голоса лилипутов высокими, а голос Гулливера низким, режиссер фильма записывал голоса артистов, игравших лилипутов, при *замедленном* движении ленты, голос же Пети, напротив, при *ускоренном* ее движении. На экран картина проектируется с нормальной скоростью. Нетрудно понять, что должно вследствие этого получиться. Голоса лилипутов воспринимаются слушателем при *учащенном* против нормального чередовании звуковых колебаний; от этого тон их должен *повыситься*. Голос же Пети, напротив, воспринимается при *замедленном* чередовании колебаний и, значит, должен *понизиться* в тоне. В итоге лилипуты в «Новом Гулливере» говорят голосом, на квинту *выше* голоса нормального взрослого человека, а сам Гулливер — Петя — на квинту *ниже* нормального тона.

Так своеобразно была использована «лупа времени» для звука. Это явление часто наблюдается, когда патефонная пластинка проигрывается со скоростью, большей или меньшей, чем скорость записи (78 об/мин или 33 об/мин).

Для кого ежедневная газета выходит дважды в день?

Сейчас мы займемся задачей, которая на первый взгляд никакого отношения ни к звуку, ни к физике не имеет. Тем не менее я попрошу вас уделить ей внимание: она поможет вам легче уяснить себе дальнейшее.

Вероятно, вы уже встречались с этой задачей в одном из ее многочисленных видоизменений. Из Москвы во Владивосток каждый полдень выходит поезд. И каждый полдень из Владивостока в Москву также выходит поезд. Переезд длится, положим, 10 дней. Спрашивается: сколько

поездов дальнего следования встретится вам во время путешествия из Владивостока в Москву?

Чаще всего отвечают: 10 поездов.

Однако ответ неправилен: вы встретите не только 10 поездов, которые выйдут из Москвы *после* вашего отбытия, но и те, которые к моменту вашего отъезда *уже находились в пути*. Следовательно, правильный ответ 20, а не 10.

Далее. Каждый московский поезд везет с собой свежие номера газет. И если вы интересуетесь новостями, вы, конечно, будете на станциях усердно покупать газеты. Сколько же свежих номеров газеты купите вы за 10 дней пути?

Вас не затруднит теперь правильный ответ: 20. Ведь каждый встречаемый вами поезд везет новые номера, а так как вы встретите 20 поездов, то номеров прочтете тоже 20. Но путешествуете вы всего 10 дней, значит, *вы будете читать ежедневную газету дважды в день!*

Вывод немного неожиданный, и вы, вероятно, не сразу поверили бы ему, если бы вам не случалось на практике убеждаться в его правильности. Вспомните хотя бы, что во время двухдневного переезда из Севастополя в Ленинград вы успевали прочитать ленинградские газеты не за *два*, а за *четыре* дня: те два номера, которые уже вышли в Ленинграде к моменту вашего отъезда, да еще два номера, которые выходят в свет в течение двух дней пути.

Итак, вы знаете уже, для кого ежедневные столичные газеты выходят дважды в день: для пассажиров всех поездов, едущих в столицу.

Задача о паровозных свистках

Если вы обладаете развитым музыкальным слухом, то заметили, вероятно, как изменяется тон (не громкость, а именно *тон*, высота) паровозного свистка, когда встречный поезд проносится мимо вашего. Пока оба поезда сближались, тон был заметно *выше* того, который слышится вам, когда поезда удаляются друг от друга. Если поезда идут со скоростью 50 км/с, то разница в высоте звука достигает почти целого тона.

Отчего же это происходит?

Вам нетрудно будет догадаться о причине, если вы вспомните, что высота тона зависит от числа колебаний в секунду; сопоставьте же это с тем, что вы узнали при обсуждении предыдущей задачи. Свисток встречного паровоза все время испускает один и тот же звук, с определенной

частотой. Но ваше ухо воспринимает различное число колебаний в зависимости от того, едете ли вы навстречу, стоите ли вы на месте или удаляетесь от источника колебании.

И подобно тому как по пути в Москву вы читаете ежедневную московскую газету чаще раза в день, так и здесь, приближаясь к источнику звука, вы улавливаете колебания *чаще, чем они исходят из свистка локомотива*. Но здесь вы уже *не рассуждаете*: ваше ухо получает увеличенное число колебаний — и вы непосредственно *слышите*



Рис. 154. Задача о паровозных свистках.

повышенный тон. Удаляясь, вы получаете меньшее число колебаний — и *слышите пониженный тон*.

Если это объяснение не окончательно убедило вас, попробуйте непосредственно проследить (конечно, мысленно) за тем, как распространяются звуковые волны от свистка паровоза (рис. 154). Рассмотрите сначала *неподвижный* паровоз (верхняя волнистая линия). Свисток производит звуковые волны, и мы рассмотрим для простоты только четыре волны: от неподвижного паровоза они успеют распространиться в какой-нибудь промежуток времени на одно и то же расстояние по всем направлениям. Волна *0* дойдет до наблюдателя *A* и до наблюдателя *B* через одно и то же время; затем до обоих наблюдателей

одновременно дойдет волна 1, 2, потом 3 и т. д. Уши обоих наблюдателей в секунду получают одинаковое число толчков, и потому оба услышат один и тот же тон.

Другое дело, если свистящий паровоз *движется* от B' к A' (нижняя волнистая линия). Пусть в некоторый момент свисток находится в точке C', а за время, когда он испустил четыре волны, он уже успел дойти до точки D. Теперь сравните, как будут распространяться звуковые волны. Волна 0, вышедшая из точки C', дойдет одновременно до обоих наблюдателей A' и B'. Но четвертая волна, образовавшаяся в точке D, дойдет до них уже не одновременно: путь DA' меньше пути DB' и, следовательно, к A' она дойдет раньше, чем к B'. Промежуточные волны (1 и 2) также придут в B' позже, чем в A', но промедление будет меньшее. Что же получается? Наблюдатель в точке A' будет *чаще* воспринимать звуковые волны, нежели наблюдатель в точке B': первый услышит *более высокий тон*, нежели второй. Вместе с тем, как легко видеть из рисунка, длина волн, бегущих в направлении к точке A', будет соответственно короче длины волн, идущих к B' *).

Явление Доплера

Явление, которое мы только что описали, открыто было физиком Доплером и навсегда осталось связанным с именем этого ученого. Оно наблюдается не только для звука, но и для световых явлений, потому что свет тоже распространяется волнами. Учащение волн (воспринимаемое в случае звуковых волн как повышение тона) в случае световых волн воспринимается глазом как изменение *цвета*.

Правила Доплера дает астрономам чудесную возможность не только выяснить, приближается ли звезда к нам или удаляется, но позволяет даже измерить скорость этого перемещения.

Помощь астроному оказывает при этом боковое смещение темных линий, прорезывающих полосу спектра. Внимательное изучение того, в какую сторону и насколько сдвинулись темные линии в спектре небесного светила,

*) Необходимо иметь в виду, что волнообразные линии на рисунке вовсе не изображают *формы* звуковых волн: колебание частиц в воздухе происходит *вдоль* направления звука, а не поперек. Волны изображены здесь *поперечными* только ради наглядности, и горб такой волны соответствует наибольшему сжатию в продольной звуковой волне.

позволило астрономам сделать целый ряд открытий. Так, благодаря явлению Доплера мы знаем, что яркая звезда Сириус каждую секунду удаляется от нас на 75 км. Эта звезда находится от нас на таком неимоверно огромном расстоянии, что удаление даже на миллиарды километров не изменяет заметно ее видимой яркости. Мы, вероятно, никогда не узнали бы о движении этого светила, если бы нам не помогло явление Доплера.

С поразительной наглядностью сказывается на этом примере то, что физика есть наука поистине *всеобъемлющая*. Установив закон для *звуковых* волн длиной в несколько метров, она применяет его к исчезающе маленьким *световым* волнам, длиной всего в несколько десятитысячных долей миллиметра, и пользуется этим знанием, чтобы измерять стремительные движения гигантских солнц в неимоверных далях мироздания.

История одного штрафа

Когда Доплер впервые (в 1842 г.) пришел к мысли, что взаимное сближение или удаление наблюдателя и источника звука или света должно сопровождаться изменением длины воспринимаемых звуковых или световых волн, он высказал смелое соображение, что именно в этом кроется причина окраски звезд. Все звезды, думал он, сами по себе белого цвета; кажутся же многие из них окрашенными потому, что они быстро движутся по отношению к нам. Быстро приближающиеся белые звезды посылают земному наблюдателю укороченные световые волны, порождающие ощущение зеленого, голубого или фиолетового цветов; напротив, быстро удаляющиеся белые звезды кажутся нам желтыми или красными.

Это была оригинальная, но безусловно ошибочная мысль. Для того чтобы глаз мог заметить изменение окраски звезд, обусловленное движением, надо было бы прежде всего наделить звезды огромными скоростями — порядка десятков тысяч километров в секунду. Но и это оказалось бы недостаточным: дело в том, что одновременно с превращением, например, голубых лучей приближающейся белой звезды в фиолетовые лучи зеленые превращаются в голубые, место ультрафиолетовых занимают фиолетовые, красных — инфракрасные; словом, составные части белого света остаются, так что, несмотря на общий сдвиг всех

цветов спектра, глаз не должен был бы заметить никакого изменения общей окраски.

Другое дело — сдвиг темных линий в спектре звезд, движущихся по отношению к наблюдателю: эти перемещения хорошо улавливаются точными инструментами и позволяют определять скорость движения звезд по лучу зрения. Хороший спектроскоп устанавливает скорость звезды, равную даже 1 км/с [8]).

Заблуждение Доплера вспомнилось знаменитому физику Роберту Вуду, когда полисмен готовился однажды оштрафовать его за то, что он не остановил свой быстро мчавшийся автомобиль, несмотря на красный сигнал. Вуд, как рассказывают, стал тогда уверять блюстителя порядка, что при быстрой езде навстречу сигналу красный цвет воспринимается как зеленый. Будь полисмен сведущ в физике, он мог бы рассчитать, что для оправдания слов ученого автомобиль должен был мчаться с совершенно невероятной скоростью: 135 млн. км/ч.

Вот этот расчет. Если через l обозначить длину волн света, испускаемого источником (в данном случае сигнальным фонарем), через l' — длину волн, воспринимаемых наблюдателем (в автомобиле), через v — скорость автомобиля, а через c — скорость света, то зависимость между этими величинами, установленная теорией, такова:

$$\frac{l}{l'} = 1 + \frac{v}{c}.$$

Зная, что самая короткая из волн, отвечающая красному цвету, равна 630 нм, а самая длинная волна зеленого цвета равна 560 нм, подставляем эти значения в формулу; скорость света нам также известна: 300 тыс. км/с. Имеем

$$\frac{630}{560} = 1 + \frac{v}{300\,000},$$

откуда скорость автомобиля

$$v = \frac{300\,000}{8} = 37\,500 \text{ км/с},$$

или 135 млн. км/ч. При такой скорости Вуд в течение часа с небольшим отъехал бы от полисмена дальше, чем до Солнца. Говорят, что его все-таки оштрафовали «за превышение дозволенной скорости».

Со скоростью звука

Что услышали бы вы, если бы удалялись от играющего оркестра со скоростью звука?

Человек, едущий из Ленинграда на почтовом поезде, видит на всех станциях у газетчиков одни и те же номера газет, именно те, которые вышли в день его отбытия. Это и понятно, потому что номера газет едут вместе с пассажиром, а свежие газеты везутся поездами, идущими позади. На этом основании можно, пожалуй, заключить, что, удаляясь от оркестра со скоростью звука, мы будем все время слышать одну и ту же ноту, которую оркестр взял в начальный момент нашего движения.

Однако заключение это неверно; если вы удаляетесь со скоростью звука, то звуковые волны, оставаясь относительно вас в покое, вовсе не ударяют в вашу барабанную перепонку, а следовательно, вы не можете слышать никакого звука. Вы будете думать, что оркестр прекратил игру.

Но почему же сравнение с газетами привело к другому ответу? Да просто потому, что мы неправильно применили в данном случае рассуждение по аналогии. Пассажир, встречающий всюду одни и те же номера газет, вообразит (т. е. мог бы вообразить, если бы забыл о своем движении), что выпуск новых номеров в столице вовсе прекратился со дня его отъезда. Для него газетные издательства прекратили бы свое существование, как прекратилось бы существование звука для движущегося слушателя. Любопытно, что в этом вопросе могут иногда запутаться даже ученые, хотя, в сущности, он не так уж сложен. В споре со мной (я был тогда еще школьником) один астроном не соглашался с таким решением предыдущей задачи и утверждал, что, удаляясь со скоростью звука, мы должны слышать все время один и тот же тон. Он доказывал свою правоту следующим рассуждением (привожу отрывок из его письма)

> «Пусть звучит нота известной высоты. Она звучала так с давнего времени и будет звучать неопределенно долго. Наблюдатели, размещенные в пространстве, слышат ее последовательно и, допустим, неослабно. Почему же вы не могли бы ее слышать, если бы с быстротой звука или даже мысли перенеслись на место любого из этих наблюдателей?»

Точно так же доказывал он, что наблюдатель, удаляющийся от молнии со скоростью света, будет все время непрерывно видеть эту молнию:

«Представьте себе непрерывный ряд глаз в пространство. Каждый из них будет получать световое впечатление после предыдущего; представьте, что вы мысленно и последовательно можете побывать на месте каждого из этих глаз, — и очевидно, вы все время будете видеть молнию».

Разумеется, ни то ни другое утверждение неверно: при указанных условиях мы не услышим звука и не увидим молнии. Это видно, между прочим, из формулы, полученной в предыдущей статье; если в ней положить $v = -c$, длина воспринимаемой волны l' получится бесконечной, что равносильно отсутствию волн.

Курьезы слуха

Когда мы грызем твердый сухарь, мы слышим оглушительный шум, между тем как наши соседи едят те же сухари без заметного шума. Как ухитряются они избегать этого грохота?

Дело в том, что шум и грохот существуют лишь в наших ушах и мало беспокоят уши наших соседей. Кости черепа, как и вообще твердые, упругие тела, очень хорошо проводят звуки, а звук в плотной среде усиливается иногда до чрезвычайных размеров. Доходя до уха *через воздух*, треск сухаря воспринимается как легкий шум; но тот же треск превращается в грохот, если доходит до слухового нерва через твердые кости черепа. Вот еще опыт из той же области: зажмите между зубами колечко карманных часов и плотно закройте уши пальцами: вы услышите тяжелые удары — так усилится тиканье часов.

Бетховен, оглохнув, слушал, говорят, игру на рояле, приставив к нему одним концом свою трость, другой конец которой он держал у зубов [9]. Точно так же те глухие, у которых уцелело внутреннее ухо, могут танцевать под музыку: звуки достигают до их слуховых нервов через пол и кости.

* * *

«Занимательная физика» закончена. Если она возбудила в читателе желание поближе познакомиться с необъятной областью той науки, откуда почерпнута эта пестрая горсть простейших сведений, то задача автора выполнена, цель достигнута, и с чувством удовлетворения ставит он последнюю точку после слова «конец».

СТО ВОПРОСОВ
КО ВТОРОЙ КНИГЕ «ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА»

1. Можно ли с воздушного шара заметить, как вращается под ним земной шар?

2. Падает ли вниз отвесно камень, выпущенный во время полета летчиком из рук?

3. Можно ли устроить так, чтобы пассажиры безопасно покидали железн[illegible] поезд на полном ходу?

4. Ко[illegible] носом лед, равно ли его действие противодействию льда?

5. По[illegible]? Может ли взлететь зажженная ракета в [illegible]?

6. Су[illegible], движущиеся по образцу ракеты?

7. Всегда [illegible], направленные несогласованно, не сообщают телу никакого движения?

8. Почему свод прочнее плоского потолка?

9. Как движется парусная лодка?

10. Можно ли, имея длинный рычаг и точку опоры, поднять земной шар?

11. Чем объясняется то, что узел крепко держит связанные им веревки?

12. Можно ли пользоваться узлами, если бы не было трения?

13. Укажите выгоды и невыгоды от отсутствия трения.

14. Когда половая щетка уравновешена на спинке стула, какая ее часть тяжелее: короткая или длинная?

15. Почему не опрокидывается вращающийся волчок?

16. Когда вода не выливается из опрокинутого стакана?

17. Когда шар не скатывается вниз по наклону?

18. Где сила тяжести больше: в Ленинграде или в Москве?

19. Почему мы не замечаем взаимного притяжения предметов?

20. Какой длины прыжок могли бы вы сделать на Луне?

21. На какую высоту взлетела бы на Луне пуля винтовки при стрельбе отвесно вверх? Начальная скорость пули 900 м/с.

22. Если просверлить земной шар по диаметру и в образовавшуюся сквозную шахту бросить гирю, то где остановилась бы она при отсутствии сопротивления воздуха?

23. Как надо прорыть туннель сквозь гору, чтобы дождевая вода его не затопляла?

24. Можно ли бросить с Земли тело так, чтобы оно нигде на земной поверхности не упало?

25. В каких водах на территории СССР не утонет даже не умеющий плавать человек?

26. Как ледокол разламывает лед?

27. Доходят ли до дна океана затонувшие корабли?

28. На каком физическом законе был основан подъем «Садко»?

29. Кем введены в русскую речь слова «газ», «материя», «атмосфера», «барометр»?

30. В чем состоит «задача о бассейнах» и правильно ли решают ее в школьных учебниках?

31. Можно ли устроить так, чтобы жидкость вытекала из сосуда неослабевающей струей?

32. Разорвутся ли «магдебургские полушария», если их будут растягивать с каждой стороны не 8 лошадей, а 8 слонов, каждый из которых впятеро сильнее лошади?

33. Чем объясняется действие пульверизатора?

34. Почему взаимно притягиваются два рядом плывущих корабля?

35. Какую роль играет при плавании рыбы ее пузырь?

36. Какие два рода течения жидкости различают в физике?

37. Почему дым из фабричной трубы выходит клубами?

38. Почему флаг на ветре полощется?

39. Почему на песке пустыни образуются волны?

40. На какую высоту надо подняться в атмосфере, чтобы давление ее упало на 1000-ю долю?

41. Применим ли закон Мариотта к воздуху под давлением 500 атм?

42. Показывает ли термометр в ветреную погоду более низкую температуру, чем при отсутствии ветра?

43. Почему в ветреную погоду мороз хуже переносится, чем в тихую?

44. Всегда ли в жаркую погоду ветер приносит прохладу?

45. На чем основано действие охлаждающих кувшинов?

46. Как устроить охлаждающий шкаф, не пользуясь льдом?

47. Может ли наш организм выносить жару в 100° С?

48. Почему 36-градусный зной в Ташкенте переносится легче, чем 24-градусная жара в Ленинграде?

49. Для чего служит стекло в керосиновой лампе?

50. Почему продукты горения не гасят пламени керосиновой лампы или свечи?

51. Как горело бы пламя при отсутствии силы тяжести?

52. Как нагревалась бы на примусе вода при отсутствии силы тяжести?

53. Почему вода гасит огонь?

54. На чем основано тушение степного пожара при помощи поджигания травы?

55. Закипит ли чистая вода в сосуде, нагреваемом кипящей водой?

56. Замерзнет ли вода в бутылке, погруженной в смесь воды со льдом?

57. Может ли вода кипеть при комнатной температуре?

58. Как с помощью термометра определить давление атмосферы?

59. Существует ли горячий лед?

60. Какие магниты сильнее: естественные или искусственные?

61. Какие металлы, кроме железа, притягиваются сильным магнитом?

62. Существуют ли металлы, отталкиваемые сильным магнитом?

63. Действует ли магнит на жидкости и газы?

64. Какое техническое применение можно предложить, основываясь на свойстве магнита отклонять пламя?

65. Какое притяжение сильнее: железа магнитом или магнита железом?

66. Какой орган чувств воспринимает действие магнитной силы?

67. Можно ли электромагнитным подъемным краном поднимать раскаленные болванки?

68. Почему вредно для золотых часов приближение к сильному магниту? Для каких часов оно безвредно?

69. Что такое радиевые часы? Можно ли их назвать «вечным двигателем»?

70. Как на основании радиоактивного распада определить древность минералов и возраст Земли?

71. Почему птицы безнаказанно садятся на провода высоковольтной передачи?

72. Сколько времени длится молния?

73. Под каким углом друг к другу надо поставить два зеркала, чтобы предмет дал в них семь отражений?

74. Какая разница между солнечным двигателем и солнечным нагревателем?

75. Что такое «гелиотехника»?

76. Почему у рыб хрусталик глаза круглый?

77. Можно ли, окунувшись под воду, читать там книжный шрифт?

78. Кто различает лучше предметы под водой: водолаз со шлемом на голове или человек, нырнувший без шлема?

79. Может ли двояковыпуклая линза служить уменьшительным стеклом? А двояковогнутая — увеличительным стеклом?

80. Почему дно пруда кажется глазу приподнятым?

81. Что такое «предельный угол»?

82. Что такое «полное внутреннее отражение»?

83. Полезна ли рыбам их серебристая окраска?

84. Что такое «слепое пятно» нашего глаза? Как убедиться в его существовании?

85. Что такое «угол зрения»?

86. На каком расстоянии от глаза надо держать копеечную монету, чтобы она как раз закрывала полную Луну?

87. На сколько расходятся стороны угла в 1′ при расстоянии 10 м от вершины?

88. Диаметр Юпитера примерно в 10 раз больше диаметра Земли. На каком расстоянии от нас находится эта планета, когда диск ее наблюдается под углом в 40″?

89. Как надо понимать выражения: «микроскоп увеличивает в 300 раз», «телескоп приближает в 500 раз»?

90. Почему автомобильные колеса на кинокартине часто вращаются назад, когда автомобиль мчится вперед?

91. Можно ли устроить так, чтобы быстро вращающийся шкив остановился для нашего глаза?

92. Верно ли, что заяц, не поворачивая головы, видит предметы, находящиеся позади?

93. Верно ли, что в темноте все кошки серы?

94. Что распространяется быстрее: радиосигнал или звук в воздухе?

95. Что движется быстрее: ружейная пуля или звук выстрела?

96. Какие звуковые колебания не воспринимает наше ухо?

97. Имеют ли беззвучные звуки техническое применение?

98. Что такое «звуковое облако»?

99. Как изменяется тон свистка приближающегося паровоза?

100. Что слышали бы мы, удаляясь от оркестра со скоростью звука?

ДОПОЛНЕНИЯ И ПРИМЕЧАНИЯ РЕДАКТОРА

К главе первой

[1]) В самых сильных тропических циклонах ветер достигает скорости 110 м/с. Наибольшая скорость ветра была зарегистрирована в 1934 г. в США. Она составляла 115,6 м/с (416 км/ч). Этот факт приводится в книге: *Оксанович Л. В.* Невидимый конфликт. — М.: Стройиздат, 1981, с. 27.

[2]) Сейчас этот прием используется иногда на электрифицированных железных дорогах. Он дает заметный выигрыш в экономии электроэнергии на участках дорог, где возможны частые остановки поезда.

[3]) При равномерном движении телеги требуется прикладывать некоторую силу (это [illegible] лошади), чтобы преодолевать силу трения, которая противодействует движению телеги.

С объяснением у Перельмана парадокса «лошадь — телега» можно поспорить. Конечно, силы приложены к разным телам: к лошади и к телеге. Но между ними существует жесткая связь — упряжка. И с этой точки зрения лошадь и телегу можно рассматривать как единое тело. Движение лошади с телегой легко объяснить, если мы обратим внимание на то, как действует земля, т. е. реакция опоры, на эти два объекта. Если бы не было опоры под ногами лошади, а она отталкивалась бы от телеги, то сколько бы лошадь не старалась и сколько бы возница не погонял ее кнутом, этот странный экипаж никуда бы не уехал (см. статью «Можно ли двигаться без опоры?» на с. 20).

[4]) Известно, что у восточных народов еще в X—XII веках имелись пороховые ракеты, которые прикреплялись к стрелам и использовались в бою (см.: *Варваров Н. А.* Популярная космонавтика. — М.: Машиностроение, 1981, с. 16).

[5]) Гидрореактивные двигатели сейчас применяют иногда на так называемых водометах. Этим кораблям не страшны ни водоросли, ни мели; они используются на малых реках, например в качестве тракторов-амфибий на лесосплаве.

[6]) Для строительства пароходика удобно использовать плотную фольгу. Топливом может служить одеколон.

[7]) Подробно о реактивных двигателях в природе можно прочитать во многих книгах по бионике. См., например: *Литинецкий И. Б.* Бионика.— М.: Просвещение, 1976, с. 194.

[8]) Сегодня, когда автоматические космические аппараты совершают полеты к ближайшим планетам, доставляют на Землю образцы лунного грунта, когда спутники запускаются почти ежедневно и человек уже ступил на поверхность Луны, агитация Я.И.Перельмана за межпланетные полеты может показаться наивной молодому читателю, вся сознательная жизнь которого (а может быть и вообще вся жизнь) прошла после наступления в 1957 г. космической эры. Но мы оставляем в книге этот раздел как имеющий исторический интерес.— Я. И. Перельман был одним из первых неутомимых пропагандистов космических полетов.

К главе второй

[1]) Строго говоря, на телегу, кроме всего прочего, действует и реакция опоры со стороны полотна дороги.

[2]) Для более подробного знакомства с вопросами прочности архитектурных сооружений советуем обратиться к книге: *Гордон Дж.* Конструкции, или почему не ломаются вещи.— М.: Мир, 1980.

[3]) Использовать только энергию ветра и двигаться строго против ветра можно, если парус заменить ветродвигателем типа ветряной мельницы, который будет вращать гребной винт корабля. Существует даже известная задача П. Л. Капицы о таком необычном на первый взгляд судне (см. также журнал: Катера и яхты, 1981, № 1, с. 25).

[4]) В парусном спорте есть ряд вопросов, интересных с точки зрения физика. Подробнее об этом виде спорта и некоторых технических проблемах плавания под парусами можно узнать, например, из книг: *Гловацкий В.* Увлекательный мир парусов: Очерки по истории парусного спорта.— М.: Прогресс, 1979; *Проктор Я.* Плавание под парусом. Ветер, волнение и течение.— Л.: Гидрометеоиздат, 1981.

[5]) Существует целая наука о трении. Рекомендуем читателям для более глубокого знакомства с этим вопросом книгу: *Силин А. А.* Трение и его роль в развитии техники.— М.: Наука, 1976.

[6]) До сих пор речь шла о силах, действующих на борт ледокола со стороны льда. Чтобы проанализировать движение льда, требуется на самом деле рассматривать силы, действующие со стороны ледокола на лед, используя при этом третий закон Ньютона.

[7]) *Я. И. Перельман* был одним из самых активных организаторов «Павильона занимательной науки», который был открыт для ленинградской молодежи в предвоенные годы.

[1]) Вращение обеспечивает устойчивость снарядов и пуль в полете. Гироскопические приборы применяются для автоматического управления движением летательных аппаратов, ракет, морских судов. Известны также разнообразные навигационные гироскопические приборы, например гирокомпас, гировертикаль, указатель курса и т. д. Целый ряд измерительных гироскопических приборов предназначается для определения характеристик движения тела: угловой скорости, углового ускорения и некоторых других. Во всех перечисленных приборах основным элементом является гироскоп — быстро вращающееся твердое тело, ось вращения которого может изменять свое направление в пространстве.

[2]) См.: *Перри Дж.* Вращающийся волчок.— Вологда: Северный печатник, 1926.

[3]) Об устойчивом равновесии тел на подставке и о колумбовой задаче можно прочитать в журналах: Наука и жизнь, 1968, № 10, с. 77; Квант, 1977, № 7, с. 10.

[4]) На тело, кроме силы тяжести, действует реакция опоры — сила со стороны вращающейся платформы. Векторная сумма этих сил сообщает телу центростремительное ускорение, и тело вращается с постоянной угловой скоростью вокруг оси. Если же мы находимся во вращающейся системе координат, например на вращающейся платформе, то вращение можно учесть, введя в рассмотрение фиктивную центробежную силу, как это сделано на рис. 33. Но и тогда при рассмотрении всех сил, действующих на тело, не следует забывать о реакции опоры, составляющей которой может быть сила трения. Неподвижному наблюдателю (в инерциальной системе координат) не нужно привлекать фиктивную центробежную силу, чтобы объяснить вращение человека на платформе.

[5]) Чертеж на рис. 41 следует рассматривать как приближенный. В точках B и C положение центра тяжести велосипедиста с велосипедом оказывается не на одной и той же высоте.

[6]) См. гл. 1 в первой книге «Занимательная физика».

К главе четвертой

[1]) О том, что происходит в недрах нашей планеты, помогают узнать не только глубинное бурение, но и другие физические методы исследования, и прежде всего изучение распространения сейсмических волн в Земле, наблюдение смещения отдельных участков суши, лабораторные исследования свойств пород при сверхвысоких давлениях, методы гравиметрии. Подробнее об этих исследованиях и новых данных о строении Земли читатель может узнать из популярной брошюры: *Жарков В. Н.* Внутреннее строение Земли, Луны и планет.— М.: Знание.— (Космонавтика и астрономия), 1973.

²) Золотой рудник в Боксбурге (Трансвааль, Южная Африка), ...устье ствола расположено на высоте 1,6 км над уровнем ..., т. е. глубина шахты от уровня моря 1,7 км. В настоящее время неоднократно сообщалось о проведении глубинного бурения в наше время, например на Кольском полуострове, до отметки, превышающей 10-километровый рубеж. Такие работы представляют не только чисто научный интерес, но и преследуют практические цели, являясь частью программ геологических исследований по поиску полезных ископаемых.

³) Полный период качания тела $T = 2\pi\sqrt{R/g}$. Здесь R — радиус земного шара, g — ускорение свободного падения на земной поверхности, равное

$$g = G\frac{M}{R^2} = G\frac{\frac{4}{3}\pi R^3\rho}{R^2} = G\frac{4\pi}{3}R\rho,$$

$G = 6{,}67\cdot10^{-11}$ Н·м²/кг² — гравитационная постоянная, $\rho = 5{,}5$ г/см³ — [illegible] считается постоянной. Таким образом,

$$T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}} \approx 84 \text{ мин.}$$

⁴) Современному читателю, знакомому с уравнениями движения гармонического маятника, т. е. такого маятника, для которого возвращающая сила F пропорциональна смещению от положения равновесия x ($F = -kx$), нет надобности разыскивать этот старый журнал. Ведь нетрудно проверить, что и падение тела в шахте-колодце (рис. 44), и движение поезда в туннеле (рис. 45) описываются теми же уравнениями, что и обычный гармонический маятник, если, конечно, пренебречь сопротивлением воздуха. Предоставим читателю самостоятельно убедиться в этом.

К главе пятой

¹) Электромагнитные пушки, разработка которых осуществляется в настоящее время в ряде военных исследовательских центров на Западе, позволяют уже сейчас сообщать специальным снарядам скорость, соизмеримую с первой космической скоростью, т. е. значительно большую, чем артиллерийские орудия (см., например, журнал: Physics Today, 1980, № 12, p. 19).

²) О том, что такое перегрузки, действующие на человека, и как решается проблема больших перегрузок в современной авиации и космонавтике, за последнее время написано немало. Процитируем Ю. А. Гагарина: «Начали расти перегрузки. Я почувствовал, как какая-то непреодолимая сила все больше вдавливает меня в кресло. И хотя оно было расположено так, чтобы до предела сократить влия-

ние огромной тяжести, наваливающейся на мое тело, было трудно пошевелить рукой и ногой . . . Перегрузки все возрастали . . .».

Интересующимся подробнее этим вопросом рекомендуем прочитать рассказ «Ускорение и перегрузки. Их влияние и преодоление» в книге: *Варваров Н. А.* Популярная космонавтика.— М.: Машиностроение, 1981.

К главе шестой

[1]) Некоторые истории о необыкновенно большой солености этого залива читатель может узнать из повести: *Паустовский К.* Кара-Бугаз.— Собр. соч.— М.: Художественная литература, 1967, т. 1, с. 401.

[2]) Отдельные типы судов, например немецкие корабли, плавающие во внутренних водах Балтийского бассейна, снабжаются тремя различными грузовыми марками, отчетливо нанесенными на бортах середины судна, а именно: FW — высота палубы в пресной воде, S и W — летняя и зимняя высоты палубы в морской воде (см.: *Дитрих Г., Калле К.* Общее мореведение: Введение в океанографию.— Л.: Гидрометеоиздат, 1961).

[3]) Тяжелая вода широко применяется в атомной технике, в частности в атомных реакторах. Она добывается из обычной воды промышленным способом в больших количествах.

Говоря о семнадцати разновидностях тяжелой воды, Я. И. Перельман имел в виду соединения типа H_2O, составленные из различных изотопов водорода и кислорода, а именно, обычного водорода H, дейтерия D или трития T и изотопов природного кислорода с массовыми числами 16, 17 или 18. Химическая формула этих соединений может иметь следующий вид: H_2O, D_2O, T_2O, HDO, HTO или DTO с любым из трех изотопов кислорода O. Все эти соединения, кроме обычной воды H_2O с преобладающим на Земле легким изотопом ^{16}O, и являются, по Перельману, разновидностями тяжелой воды, а точнее, разными жидкостями. Число их семнадцать. Добавление искусственных изотопов кислорода, например тяжелого ^{19}O или легких ^{14}O и ^{15}O, увеличивает и без того длинный список жидкостей, которые принято относить к воде.

[4]) Молодой читатель — наш современник; знакомясь с этой статьей, вероятно, вспомнит о недавнем знаменитом рейсе атомного ледокола «Арктика» к Северному полюсу. Этот факт как нельзя лучше иллюстрирует стремительный прогресс техники XX века и мощь ледокольного флота нашей страны.

[5]) Скорость современных атомных подводных лодок превосходит 50 узлов. Эти корабли могут двигаться под водой со скоростью курьерского поезда. Подводное судно, снабженное атомным двигателем, делает человека свободным в выборе путей в малоизведанных

глубинах морей и океанов. Неисчерпаемые запасы энергии на борту подводного корабля позволяют, не всплывая на поверхность, проделывать огромные переходы. Так, в 1958 г. (с 22 июля по 5 августа) американская подводная лодка с атомным двигателем «Наутилус» прошла в погруженном состоянии в районе Северного полюса, совершив поход из Берингова моря в Гренландское.

[6]) Глубина погружения атомных подводных лодок не превышает несколько сот метров.

[7]) Позднее во Франции под руководством инженера Вильма и в Италии по проекту швейцарского ученого Пиккара были созданы специальные аппараты для глубоководных исследований — батискафы. Их важнейшее отличие от батисфер состоит в том, что они могут двигаться, плавать на больших глубинах, тогда как батисферы беспомощно висят на тросах. Сначала Пиккар опустился в батискафе более чем на 3 км, потом французы Гийом и Вильм достигли глубины 4050 м. Ноябрь 1959 г. — батискаф на глубине 5670 м, но и это еще не предел. 9 января 1960 г. Пиккар опустился на глубину 7300 м, а 23 января его батискаф достиг дна Марианской впадины на глубине 11,5 км! По современным данным это самое глубокое место в мире.

[8]) О развитии работ по подъему затонувших судов и о поисково-спасательных операциях при авариях подводных лодок, надводных судов и самолетов заинтересованные читатели могут прочесть в книге: *Юриев А. И., Сахаров Б. Д., Сытин А. В.* Аварии под водой.— Л.: Судостроение, 1981. В этой книге приводится обширный список литературы, посвященной указанным вопросам.

[9]) Чтобы определить скорость вытекания жидкости из сосуда, надо, казалось бы, умножить скорость жидкости $v = \sqrt{2gh}$ на площадь отверстия крана. Однако это вовсе не так, в чем можно убедиться на опыте. Дело в том, что скорости разных частиц жидкости на выходе струи не параллельны друг другу, а имеют составляющую, направленную к центру потока. Этот парадокс разбирается подробно в книге: *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Физика сплошных сред.— М.: Мир.— (Фейнмановские лекции по физике, т. VII), 1966, гл. 40, § 3.

[10]) С точки зрения физика (точнее, специалиста по вакуумной технике) такое утверждение является спорным. По-видимому, в межсуставном пространстве воздух все-таки есть, и его давление примерно равно атмосферному. Но воздуха там мало, так как мал объем замкнутого пространства. При перемещении костей относительно друг друга объем пространства может увеличиваться, и при этом из-за атмосферного давления возникнет сила, прижимающая кости. Это явление легко промоделировать в опыте с велосипедным насосом.

[11]) Задача рассматривается без учета сил поверхностного натяжения.

[12]) В опыте, показанном на рис. 70, с изменением зазора между дисками изменяется сила, действующая на верхний диск и трубку. Если, например, трубку с отверстием укрепить на пружинке над некоторой поверхностью, продувать трубку газом и измерять с помощью чувствительного датчика силу, действующую на трубку, т. е. силу натяжения пружинки, то таким способом можно определить расстояние от конца трубки до поверхности. Перемещение трубки вдоль некоторой заданной кривой позволяет измерить профиль поверхности. На этом принципе построены метрологические приборы, с помощью которых в технике с высокой точностью измеряют формы поверхностей изготовляемых деталей.

[13]) Эти очень интересные и действительно трудные вопросы разбираются в книге: [illegible] Б. Б., *Рыдник В. И.* Волны вокруг нас.— М.: [illegible], 19[illegible]. Рекомендуем читателям познакомиться с этой книгой.

[14]) В [illegible] сосудах течение крови ламинарное, и преобла[illegible] являются диффузионные процессы переноса.

[15]) Считается, что температура воздуха постоянна.

[16]) [illegible] воздуха приведены в относительных единицах (по [illegible] к плотности воздуха при нормальных условиях).

К главе седьмой

[1]) Кроме всего прочего, одно из назначений высоких заводских труб — выбрасывать побочные технологические продукты выше в атмосферу для того, чтобы в дальнейшем проходило их рассеяние на большей площади. Это обстоятельство в какой-то степени приводит к уменьшению плотности загрязнений на местности вблизи предприятий, однако не устраняет их полностью. Для предотвращения выброса вредных веществ в атмосферу должна проводиться эффективная фильтрация дыма, например с помощью пылеуловителей.

[2]) О том, что такое невесомая кухня космонавтов, читатели могут узнать из книги: *Варваров Н. А.* Популярная космонавтика.— М.: Машиностроение, 1981, гл. 5.

[3]) Этот прибор называется также термобарометром. Отметим, что при давлении вблизи атмосферного изменение температуры кипения чистой воды на 0,1 °C соответствует изменению атмосферного давления на 2,5—3 мм рт. ст. (или эквивалентному изменению высоты местности примерно на 30 м). Шкала современного термобарометра разделена на сотые доли градуса или соответствующие единицы давления в мм рт. ст. В состав прибора, кроме термометра со шкалой, входит кипятильник — металлический сосуд с чистой

водой и нагреватель. Несмотря на свою простоту, термобарометр является удобным и точным прибором, годным для использования в экспедиционных условиях.

4) Атмосферное давление у поверхности Марса такое же, как на Земле на высоте 30—35 км, т. е. менее 10 мм рт. ст., однако состав атмосфер этих планет разный.

5) Следует иметь в виду, что при резком уменьшении давления воздуха над поверхностью воды, кроме водяных паров, из воды выделяются растворимые в ней газы. Некоторой аналогией этого явления служит выделение пузырьков углекислого газа в бутылке с минеральной водой в тот момент, когда ее открывают.

К главе восьмой

1) Название «магнит», как утверждал Платон (V век до нашей эры), было дано магнетиту Еврипидом, называвшим его в своих драмах «камнем из Магнезии» (Греция). Магнетит, или иначе магнитный железняк (химический состав: 31% FeO и 69% Fe_2O_3),— это встречающиеся в природе намагниченные каменные кусочки, иногда достигающие сравнительно больших размеров (до нескольких килограмм). Другие легенды о происхождении слова «магнит», а также много интересного о магнитах и магнетизме вообще можно узнать из книги: *Карцев В. П.* Магнит за три тысячелетия.— М.: Атомиздат, 1978.

2) Надо, строго говоря, рассматривать не отдельные атомы в куске стали, а домены — образования, состоящие из огромного числа атомов и видимые иногда невооруженным глазом. Атомы в домене ориентированы в одном направлении, однако ненамагниченное тело из стали в целом магнитным моментом не обладает, так как домены в теле расположены хаотично. Лишь при намагничивании стали часть доменов ориентируется уже выборочно вдоль направления внешнего поля и остается в таком положении после намагничивания.

3) Исключением является случай, когда по раскаленному металлу течет сильный ток. При этом возникает магнитное поле тока, способное взаимодействовать с внешним магнитным полем.

4) До революции в России «Общество конно-железных дорог и омнибусов» применяло магниты для очистки овса от железных гвоздей, спасая тем самым лошадей от возможных тяжелых травм в момент приема корма. Известен еще целый ряд примеров, старых и сравнительно новых, использования магнитов для разделения (или, как иногда говорят, сепарации) предметов или веществ, например при обогащении железных руд с помощью магнитов. Магниты или электромагниты (соленоиды) в современных физических приборах сортируют атомы и ионы, заставляют заряженные частицы

двигаться по кругу в вакуумной камере ускорителя, препятствуют охлаждению горячей плазмы и т. д.

[5]) Экспериментально реализован и используется иногда в лабораторной практике так называемый диамагнитный подвес — тело, свободно парящее в неоднородном магнитном поле определенной конфигурации.

[6]) Об опытах с электромагнитной пушкой, способной «выстреливать» снарядом со скоростью, соизмеримой с первой космической, мы уже сообщали (см. примечание [1]) к гл. 5).

[7]) Идеи использования магнитных сил на железной дороге получили в наше время дальнейшее развитие, а некоторые из них реализованы на практике. Существует даже термин «поезд на магнитной подушке». Успехи в этой области техники связаны с изобретением и конструированием новых типов электродвигателей, например линейного [illegible] мотора, и соленоидов со сверхпроводящей обмоткой. Интересующимся этими вопросами рекомендуем обратиться к специальной литературе. См., например, книгу: *Дмитриенко И. М.* В мире сверхпроводимости.— Киев: Наукова думка, 1981.

[8]) В работах по программе Международного Геофизического Года в 1957—1958 гг. от Советского Союза участвовал корабль (шхуна «Заря»), не подверженный действию магнитных сил; во всех его креплениях, в двигателе, в якорях сталь и железо заменены медью, бронзой, алюминием и другими немагнитными металлами.

[9]) Между тем существует сравнительно простой способ размагнитить испорченные в сильном магнитном поле часы. Как вы думаете, в чем он состоит?

[10]) Бывают и более длительные молнии, до сотых и десятых долей секунды. Наблюдаются также многократные молнии — несколько (иногда десятки) молний, следующих одна за другой по пути (каналу), «пробитому» первым разрядом; общая длительность такой многократной молнии достигает иногда 1,5 секунды. Информацию о том, каковы физические свойства этого интереснейшего природного объекта, и о том, как ученые исследуют молнию, можно получить, познакомившись с книгой: *Юман М.* Молния.— М.: Мир, 1972.

[11]) В этой статье описываются опыты, проведенные впервые английским физиком лордом Рэлеем. Я. И. Перельман дает лишь упрощенное объяснение поведения струи жидкости в электрическом поле. В частности, он ничего не говорит о том, что при дальнейшем росте напряженности поля струя, наоборот, более легко дробится на капли. Опыты Рэлея через 70 лет повторил вместе со своими сотрудниками советский физик Я. И. Френкель. Он же предложил теорию, объясняющую результаты этих опытов. Подробнее эта лю-

…нятная история изложена в книге: *Гегузин Я. Е.* Капля.— М.: Наука, 1973.

12) На современных промышленных предприятиях проблему статического электричества часто решают с помощью радиоактивных изотопов. Радиоактивный препарат, излучающий заряженные частицы с малой длиной пробега в воздухе, устанавливается вблизи трущейся диэлектрической поверхности, например рулона ткани. Повышенная электропроводность воздуха, возникшая вследствие облучения препаратом, препятствует накоплению значительного электростатического заряда на трущейся поверхности. Тем самым ликвидируется угроза пожара.

К главе десятой

1) Рассматриваемый способ получения многократных снимков имеет много общего с принципом действия старой игрушки — калейдоскопа, о котором Я. И. Перельман рассказал в первой книге «Занимательная физика». Описание забавных экспериментов с многократным отражением световых лучей читатель найдет также в книге: *Толанский С.* Удивительные свойства света.— М.: Мир, 1969, гл. II. Отметим, что при произвольном угле между зеркалами и разном положении объекта относительно зеркал сосчитать число получающихся изображений не так просто. Об этом идет речь в задаче 5.15 из книги: *Уокер Дж.* Физический фейерверк.— М.: Мир, 1979.

2) В настоящее время такой же коэффициент полезного действия имеют прямые преобразователи солнечной энергии в электрическую, а именно, кремниевые фотоэлементы, батареи из которых уже сейчас находят применение на Земле и в космосе. Правда, стоимость таких фотопреобразователей пока сравнительно высока.

3) В настоящее время считается, что солнечное излучение по своим ресурсам способно почти полностью удовлетворить энергетические потребности человечества в будущем. В то же время использование солнечной энергии не связано с загрязнением окружающей среды и нарушением теплового баланса нашей планеты. Вот почему энергетическим программам в технике использования солнечной энергии (или, другими словами, гелиотехнике) придается большое значение. Благодаря использованию современных научных знаний в различных областях физики, химии, электротехнике, применению новых технологий и веществ за последние десятилетия достигнуты большие успехи в этом направлении. Но еще большее предстоит сделать. Полезную информацию об этих работах и о задачах гелиотехники можно получить из научно-популярной книги: *Бринкворт Б. Дж.* Солнечная энергия для человечества.— М.: Мир, 1976. Об использовании энергии Солнца, а также ветра, океана

и других источников можно узнать из брошюры: *Марочек В. И., Соловьев С. П.* Пасынки энергетики.— М.: Знание.— (Техника), 1981.

[4]) В наше время с помощью солнечных установок плавят не только серу: в специальных солнечных печах доводят температуру до нескольких тысяч градусов, что позволяет получать некоторые сверхчистые тугоплавкие металлы. Таким образом, с полным основанием можно утверждать, что сейчас развивается новое направление использования солнечной энергии — солнечная металлургия.

[5]) Возможна реализация «почти невидимого» устройства, поглощающего лишь малую долю светового потока, падающего на фоточувствительный приемник (искусственный глаз). Принципиально похожее устройство используется в лазерной технике при диагностике мощных световых пучков. Но в животном мире, где очень важным является вопрос о предельной чувствительности глаза в условиях малой освещенности, т. е. когда, образно говоря, борьба идет за каждый квант света, подобная идея не реализуется. Вот почему на поверхности моря можно наблюдать совсем прозрачных животных, у которых, однако, черные глаза (поглощающие свет!). Вопрос о том, каким должен быть показатель преломления глаза у «человека-невидимки», рассматривается в задаче 5.2 из книги: *Уокер Дж.* Физический фейерверк.— М.: Мир, 1979.

[6]) Маскировка в животном мире достигается в основном тремя различными способами, которые называют мимикрией (слияние с фоном или подражание другому животному), деформирующим рисунком и противотеневой окраской. Примеры маскировки живых существ рассматриваются подробно в книге: *Толанский С.* Оптические иллюзии.— М.: Мир, 1967.

[7]) Здесь речь идет о видимом свете. Вообще говоря, показатель преломления воды, как и других веществ, зависит от длины волны (это явление называется дисперсией). Как следствие этого предельный угол, при котором наступает полное внутреннее отражение, не один и тот же для разных длин волн, но для видимого света при отражении на границе вода — воздух этот угол изменяется меньше чем на 1°.

[8]) Существенным разделом «рыбьей» оптики было бы учение о большом кругозоре рыб вне воды, т. е. широком поле зрения в воздухе, облегчающем рыбам наблюдать все пространство вне воды. Об этой особенности зрения рыб следует помнить любителям рыбной ловли.

[9]) Подробнее о цвете в морских глубинах см. книгу: *Шулейкин В. В.* Очерки по физике моря.— М.: Изд-во АН СССР, 1949, очерк восьмой.

[10]) Подробнее этот и другие смежные вопросы обсуждаются в книгах: *Миннарт М.*, Свет и цвет в природе.— М.: Физматгиз, 1959, с. 119—120; *Толанский С.* Оптические иллюзии.— М.: Мир, 1967 с. 78—95.

[11]) В последние годы исследования планет и их спутников проводились также с помощью межпланетных автоматических станций. Эти исследования дали множество интересных результатов, в частности, показали отсутствие на Марсе каких бы то ни было каналов. Интересующимся можно рекомендовать книгу: *Бакулин П. И., Кононович И. В., Мороз В. И.* Курс общей астрономии.— М.: Наука, 1974.

В распоряжении ученых сейчас имеются подробные снимки поверхности Луны, Венеры, Марса. Продолжаются исследования больших планет Юпитера и Сатурна, а также их спутников. Например, в 1979 г. информация, собранная американской станцией Вояджер-1, позволила даже выявить на Ио, спутнике Юпитера, первый внеземной действующий вулкан. В 1982 г. советская автоматическая станция, совершившая мягкую посадку на Венере, передала на Землю уникальные цветные изображения поверхности Венеры и провела анализ грунта планеты. Это направление исследований (физика планет) в наше время интенсивно развивается.

О непосредственном изучении планет и их спутников с помощью космических аппаратов рассказывается в книге: *Кауфман У. Дж.* Планеты и Луна: Пер. с англ.— М.: Мир, 1982.

[12]) Большую роль в микроскопии играет также способ освещения объекта исследования, позволяющий увеличивать контраст малоразличимых деталей. Для более подробного знакомства с микроскопом и методами микроскопии можно обратиться к книгам: *Рыдник В. И.* Увидеть невидимое.— М.: Энергоиздат, 1981; *Суворов А. Л.* Микроскопия в науке и технике.— М.: Наука, 1981.

[13]) О зрительных самообманах см. в книге: *Толанский С.* Оптические иллюзии.— М.: Мир, 1967. В этой книге автор рассматривает не только те иллюзии, о которых сообщает Я. И. Перельман, но и некоторые другие малоизвестные читателю.

[14]) О том, какие принципы должны соблюдать модельеры при подготовке новых фасонов одежды для полных или, наоборот, худых людей, сообщается в той же книге С. Толанского (см. рассказ «Иллюзия полноты»). Автор оптимистически считает, что оптика может во многом помочь «несчастным толстушкам» (с. 36).

[15]) Рассматриваемые здесь примеры относятся к известным иллюзиям, которые вызваны колебаниями внимания: так называемая лестница Шредера (см. рис. 133), колеблющийся куб (см. рис. 134). Подобного рода иллюзии важно учитывать в научной практике (например, при обработке информации, полученной с помощью фото-

графий, при анализе стереопар, изображающих рельеф поверхности и т.д.).

16) В книге С. Толанского «Оптические иллюзии» подробно разбираются эти иллюзии зрения: иллюзия стрелок Мюллера — Лиера, иллюзия пересечения линий (иллюзия Поггендорфа). Достаточно подробно рассматривается также механизм действия этих иллюзий.

17) Прием, разобранный Я. И. Перельманом в статье «Микроскоп времени» в технике», лежит в основе применяемых на практике приборов — стробоскопов, с помощью которых определяют частоту некоторых быстропеременных процессов. Поскольку электронные методы контроля частоты колебаний относятся к наиболее точным физическим методам измерений, то стробоскопы обеспечивают исключительно высокую точность результатов измерений.

18) Впервые в 1920 г. принципиально таким же методом была определена средняя скорость испаряющихся в вакууме атомов серебра (опыт Штерна).

19) Диск, предложенный инженером Нипковым в 1884 г., нашел применение в 20-[illegible]х годах XX века, в так называемом механическом телевидении для развертки и восстановления изображения. Сейчас для этих целей используют системы с электронным лучом. Отметим, что современный телевизор в нашей квартире — это удобный прибор для наблюдения стробоскопического эффекта. О том, как поставить такие опыты, сообщается в книге: *Уокер Дж.* Физический фейерверк.— М.: Мир, 1979, с. 138, 139.

20) При недостаточном освещении наш глаз не только перестает различать окраску предметов, но и теряет способность улавливать резкие контуры предметов. Это явление называют иногда ночной близорукостью. По этой же причине при плохом освещении объекта очень трудно сфокусировать микроскоп.

К главе десятой

1) Утверждение о том, что для любого звука, каким бы громким он ни был, скорость распространения в воздухе всегда около 340 м/с, строго говоря, не соответствует действительности: скорость звука в воздухе вблизи очень громких источников, таких как взрыв, выстрел, канал молнии и т. д., превышает (иногда в несколько раз) обычное значение. У таких звуков есть специальное название: ударные волны в воздухе. По мере удаления от источника скорость звука (ударной волны) быстро спадает, приближаясь к нормальной. На скорость звука влияет, правда незначительно, состояние атмосферы: влажность воздуха, температура и некоторые другие факторы. При повышении температуры воздуха на 1 °С скорость звука увеличивается почти на 0,6 м/с. Иногда роль изменения температуры может быть существенной, например, в скоростной авиации.

Так, на высотах, больших чем 20 км, т. е. в стратосфере, где температура воздуха достигает −60 °С, скорость звука чуть больше 1000 км/ч, в то время как на уровне моря при температуре воздуха 15 °С звук распространяется со скоростью 1216 км/ч.

²) Автор не учитывает затухание звуковых колебаний с расстоянием, что в действительности помешает вам вести разговор, так как на другом конце такой трубы вас не услышат. Кроме того, не во всяких трубах скорость звука такая же, как в свободном воздушном пространстве.

³) Подробно история вопроса о воздушном эхе рассказывается в книге *Тиндаль Д.* Звук: Пер. с англ. – М.: Государственное издательство, 1922. Правда, эта книга [illegible] сейчас библиографической редкостью. Читатель, [illegible] достать книгу Тиндаля, познакомится с интересными [illegible] и опытами по атмосферной акустике, которые [illegible] Тиндаль и которые оказались в свое время очень [illegible] руководства.

⁴) В настоящее время [illegible] используемого в науке и технике ультразвука [illegible]. Область ультразвуковых частот сейчас принято [illegible] диапазона: низкие ультразвуковые частоты (1,5 · [illegible]) [illegible] (10^{5}—10^{7} Гц) и высокие (10^{7}—10^{9} Гц). Упругие волны с частотами 10^{9}—10^{13} Гц называют гиперзвуком. Каждая из указанных областей имеет свои специфические особенности излучения, приема и распространения звука. Верхняя граница ультразвуковых частот обусловлена физической природой упругих волн в среде. Так, в газах граничная частота определяется из условия приблизительного равенства длины звуковой волны и длины свободного пробега молекул. При атмосферном давлении она порядка 10^{9} Гц. Для гиперзвука минимальная длина волны соответствует межатомному расстоянию в твердом теле, т. е. около 10^{-10} м, а граничная частота достигает 10^{12}—10^{13} Гц.

⁵) Кристаллы кварца являются сравнительно дорогими и маломощными источниками ультразвука и применяются обычно в лабораториях. Технические применения нашли искусственные синтетические материалы, например керамика титаната бария. Кроме пьезоэлектрических преобразователей, для возбуждения ультразвука используются часто более мощные магнитострикционные излучатели.

⁶) Метод ультразвуковой дефектоскопии был предложен в 1928 г. советским ученым С. Я. Соколовым. Сейчас применяются специальные приемники ультразвуковых колебаний, которые заменяют масло и делают измерения более простыми. Работы в области фокусировки и визуализации звуковых полей, а также развитие мощных математических методов обработки сигнала при построении изображения с помощью ЭВМ привели к созданию целого класса

новых ультразвуковых приборов, так называемых звуковизоров, которые применяются сейчас в различных системах звуковидения, например в медицине при рассматривании неоднородностей в мягких тканях. Об этом см. подробнее в книге: Ультразвук / Под ред. Голяминой И. П.— М.: Советская энциклопедия.— (Маленькая энциклопедия), 1979.

[7]) Интересно отметить, что ультразвук встречается и в природе. В шуме ветра и морского прибоя есть частоты, соответствующие области ультразвука. Способностью излучать и принимать ультразвук обладают многие живые существа: бабочки, цикады и другие. Летучие мыши пользуются ультразвуком в полете, узнавая по отраженным сигналам о препятствиях на своем пути. Тонкий свист, испускаемый летучими мышами,— своеобразные «звуковые прожекторы», которые позволяют мышам свободно ориентироваться во время полета в полной темноте. Там, где много водится летучих мышей, женщины нередко боятся этих животных, говорят, что они вцепляются в волосы. Действительно, голова, покрытая густыми волосами, является «звуковой ямой», от которой не отражается ультразвук. Желая вылететь из замкнутого помещения, потревоженная летучая мышь устремляется на голову, которую «на слух» воспринимает как лаз. О звуках в природе и природных локаторах можно прочесть в книгах: *Брэгг У.* Мир света. Мир звука: Пер. с англ./ Под ред. Обреимова И. В.— М.: Наука, 1967; *Литенецкий И. Б.* Бионика. — М.: Просвещение, 1976.

[8]) О скорости звезд см., например, книгу: *Струве О., Линде Б., Пилланс Э.* Элементарная астрономия: Пер. с англ./Под ред. Каплана С. А.— М.: Наука, 1967, а также книгу: Физика космоса / Под ред. Пикельнера С.Б.— М.: Советская энциклопедия.— (Маленькая энциклопедия), 1976.

[9]) Примерно такое же устройство — деревянную трость, но с чашечкой на конце, используют опытные механики для определения «на слух» неисправностей вращающихся узлов двигателей и других устройств, например подшипников.

ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ ФИЗИКУ? *)

1. Из вопросов знаменитой Эдисоновой викторины **):

«Если бы вас высадили на один из тропических островов Тихого океана без всяких орудий, как сдвинули бы вы там с места трехтонный груз — скалу, имеющую 10 футов в горизонтальном протяжении и 15 футов в вертикальном?» (1 фут = 30,48 см.)

2. Сколько примерно должна была бы весить паутинная нить длиной от Земли до Луны? Можно ли такой груз удержать в руках? увезти на телеге? Нить паутины имеет в диаметре 200-ю долю миллиметра; плотность ее вещества около 1 г/см ^{3}.

3. В знаменитых опытах с «магдебургскими полушариями» Отто Герике впрягал с каждой стороны по 8 лошадей. Не лучше ли было бы прикрепить одно полушарие к стене, а к другому припрячь 16 лошадей? Получилась бы в этом случае более сильная тяга?

4. Одно время большую популярность на Западе, особенно в Америке, приобрела занимательная игрушка, называвшаяся там «йо-йо». Это — катушка, которая спускается на разматывающейся нити и сама затем поднимается. Игрушка — не была новостью: ею развлекались еще солдаты наполеоновских армий и даже, по разысканиям сведущих людей, герои Гомера.

С точки зрения механики «йо-йо» — не что иное, как видоизменение общеизвестного маятника Максвелла: небольшой маховичок падает, разматывая навитые на его ось нити, и приобретает постепенно столь значительную энергию вращения, что, развернув нити до конца, продолжает вращаться, вновь наматывая их и, следовательно, поднимаясь вверх. При подъеме, вследствие превращения кинетической энергии в потенциальную, маховик замедляет вращение и, наконец, останавливается и опять начинает падение с вращением. Опускание и подъем маховичка повторяются много раз, пока первоначальный запас энергии не рассеется в виде теплоты, возникающей при трении.

---

*) Ниже приведены некоторые вопросы и задачи по тематике «Занимательной физики», заимствованные из книги: *Перельман Я. И.* Знаете ли вы физику?.— М.: ОНТИ, 1935. (*Прим. ред.*)

**) За два года до смерти американский изобретатель пожелал поощрить стипендией наиболее сметливого юношу Соединенных Штатов. С разных концов республики направлены были к нему одареннейшие школьники, по одному из каждого штата, и Эдисон во главе особой учрежденной им комиссии подверг молодых людей испытанию, предложив ответить письменно на 57 вопросов по физике, химии, математике и общего характера. Победителем в состязании оказался 16-летний Вильбер Хастон из Детройта.

Прибор Максвелла описан здесь для того, чтобы предложить следующий вопрос. Нити маятника Максвелла прикреплены к пружинным весам. Что должно происходить с указателем весов в то время, когда маховичок исполняет свой танец вверх и вниз? Останется ли указатель в покое? Если будет двигаться, то в какую сторону?

5. а) Перенося в комнате с места на место горящую свечу, мы замечаем, что пламя в начале движения отклоняется назад. Куда отклонится оно, если переносить свечу в закрытом фонаре?

б) Куда отклонится пламя свечи в фонаре, если равномерно вращать фонарь около себя вытянутой рукой?

6. С какой силой надо натягивать веревку, закрепленную другим концом, чтобы она не провисала?

7. Принято считать, что все отвесы близ земной поверхности направлены к центру Земли (если пренебречь незначительным отклонением, обусловленным вращением земного шара). Известно, однако, что земные тела притягиваются не только Землей, но и Луной. Поэтому тела должны, казалось бы, падать по направлению не к центру Земли, а к общему центру масс Земли и Луны. Этот общий центр масс далеко не совпадает с геометрическим центром земного шара, а отстоит от него, как легко вычислить, на 4800 км. (Действительно, Луна обладает массой, в 80 раз меньшей, чем Земля; следовательно, общий центр их масс в 80 раз ближе к центру Земли, чем к центру Луны. Расстояние между центрами обоих тел 60 земных радиусов; поэтому общий центр масс отстоит от центра Земли на три четверти земного радиуса.)

Если так, то направление отвесов на земном шаре должно значительно отличаться от направления к центру Земли. Почему же подобные отклонения нигде в действительности не наблюдаются?

8. Легендарный рассказ о задаче Архимеда с золотой короной передается в различных вариантах. Древнеримский архитектор Витрувий (I век до нашей эры) сообщает об этом следующее:

«Когда Гиерон *), достигший царской власти, пожелал в благодарность за счастливые деяния пожертвовать в какой-либо из храмов золотую корону, он повелел изготовить ее и передал мастеру необходимый материал. В назначенный срок тот принес изготовленную корону. Гиерон был доволен; вес короны соответствовал количеству материала. Но позже стали доходить слухи, что мастер похитил некоторое количество золота, подменив его серебром. Гиерон, рассерженный обманом, просил Архимеда придумать способ обнаружить подмену.

...Занятый этим вопросом, Архимед пришел случайно в баню и, войдя в ванну, заметил, что вода выливалась через край из ванны в количестве, отвечающем глубине погружения тела. Сообразив причину явления, он не остался в ванне, а радостно выскочил и нагой побежал домой, крича на бегу по-гречески: «эврика, эврика!»

...Затем, исходя из своего открытия, он взял два куска того же веса, как корона,— один из золота, другой из серебра. Наполнив глубокий сосуд доверху водой, он погрузил в него серебряный кусок. Вода вытекла в количестве, отвечающем объему куска. Вынув кусок, он дополнил сосуд тем количеством воды, какое из него вы-

---

*) Сиракузский правитель по преданию — родственник Архимеда.

...лилось, измеряя приливаемую воду, пока сосуд вновь наполнился до краев. Отсюда он нашел, какой вес серебра соответствовал определенному объему воды. После того он опустил подобным же образом в наполненный сосуд кусок золота и, когда пополнил вытекшую воду, нашел измерением, что вытекло ее меньше — настолько, насколько кусок золота имеет меньший объем, чем кусок серебра того же веса. Когда затем он еще раз наполнил сосуд и погрузил в него корону, он нашел, что вытекло воды больше, чем при погружении куска золота, и с помощью этого избытка вычислил примесь серебра к золоту, обнаружив таким образом обман мастера».

Можно ли было по описанному здесь методу Архимеда вычислить количество золота, подмешенное в короне серебром?

9. Применим ли закон Архимеда к телам сыпучим? Как глубоко может погрузиться в сухой песок деревянный шар, положенный на его поверхность? Может ли человек утонуть с головой в сыпучем песке?

10. а) Как высоко должна подняться вода в стеклянной трубке с просветом в один микрометр?

б) Какая жидкость поднялась бы в такой трубке всего выше?

в) Какая вода поднимается в капиллярных трубках выше — холодная или горячая?

11. Опоражнивая ванну, мы замечаем близ выпускного отверстия водяной вихрь. В какую сторону он вращается: по часовой стрелке или против нее?

12. Почему загибаются гребни морских волн, набегающих на пологий берег?

13. Общеизвестен опыт с листком бумаги, который не отпадает от краев опрокинутого стакана с водой. Объяснение обычно дается такое: снизу на бумажку давит извне воздух с силой одной атмосферы, изнутри же напирает на бумажку сверху только вода с силой, во много раз меньшей (во столько раз, во сколько 10-метровый водяной столб, соответствующий атмосферному давлению, выше стакана); избыток давления и прижимает бумажку к краям стакана.

Если такое объяснение верно, то бумажка должна придавливаться к стакану с силой почти целой атмосферы (0,99 ат). При диаметре отверстия стакана 7 см на бумажку должна действовать сила приблизительно $(1/4\pi)\cdot 7^2 = 38$ кгс. Известно, однако, что для отрывания бумажного листка такой силы не требуется, а достаточно самого незначительного усилия. Пластинка металлическая или стеклянная, имеющая массу несколько десятков граммов, вовсе не удерживается у краев стакана,— она отпадет под действием силы тяжести. Очевидно, обычное объяснение опыта несостоятельно.

Каково же правильное объяснение?

14. Какой воздух богаче кислородом — тот, которым мы дышим, или тот, которым дышат рыбы?

15. Слон может оставаться под водой, дыша через хобот, выступающий над ней. Когда же пробовали подражать слону люди, «заменяя хобот трубкой», плотно прилегающей ко рту, то наблюдалось кровотечение изо рта, носа, ушей, кончавшееся тяжелым заболеванием или даже гибелью водолаза. Почему?

16. Верхний конец трубки чашечного барометра прикреплен к одной чашке весов; на другую чашку положены для равновесия гири. Нарушится ли равновесие, если изменится барометрическое давление?

17. Может ли сифон действовать в вакууме?

18. Можно ли сифоном переливать газ?

19. Кипяток гасит огонь быстрее, чем холодная вода, так как сразу отнимает от пламени теплоту парообразования и окружает огонь слоем водяного пара, затрудняющего доступ воздуха. Ввиду этого не следует ли пожарным являться с бочками кипящей воды и из насосов поливать ею горящее здание?

20. Если бы у дна океана на глубине 8 км появился пузырек воздуха, мог бы он всплыть на поверхность воды?

21. Как объясните вы существование земной атмосферы? Молекулы воздуха либо подвержены силе тяжести, либо ей не подвержены. Если не подвержены, то почему они не рассеиваются в безвоздушном пространстве вокруг Земли? Если же они силе тяжести подвержены, то почему не падают на поверхность Земли, а держатся над ней?

22. Может ли газ занимать только часть резервуара, оставляя другую часть пустой?

23. В брошюре Карпентера «Современная наука», переведенной на русский язык Л. Н. Толстым, имеется следующий довод против правильности устройства наших термометров:

«Градус не одно и то же в начале и в конце лестницы температуры. [illegible] то, что градусы термометра суть равные пространства [illegible], показывает, что отношение их ко всему объему [illegible] от одного конца трубки до другого, [illegible]ложным».

[illegible] сказать, что если, например, длина шкалы [illegible] мм, то миллиметровый цилиндрик ртути при 0 °С составляет [illegible] долю объема всей ртути, чем такой же цилиндрик при [illegible], [illegible] общий объем ртути увеличился; значит, заключает [illegible] считать соответствующие интервалы температуры [illegible].

[illegible] ли этот упрек и подрывает ли он доверие к измерениям температуры с помощью термометров с жидкостями и газами?

24. В середине квадратного железного листа со стороной 1 м имеется отверстие диаметром 0,1 мм. Как должна измениться температура листа, чтобы дырочка в нем совершенно закрылась?

25. Можно ли механической силой помешать тепловому расширению металлического бруса или ртутного столба?

26. Длина пузырька в трубке плотничьего уровня меняется при колебаниях температуры. Когда же пузырек больше: в теплую погоду или в холодную?

27. Теплота способна переходить только от тела, более нагретого, к телу, менее нагретому. Температура нашего тела выше температуры воздуха в натопленной комнате. Почему же нам в такой комнате тепло?

28. Что требует больше времени: нагревание воды на примусе от 10 до 20 °С или от 90 до 100 °С?

29. Какова приблизительно температура пламени стеариновой свечи?

30. Почему гвозди на свечке не плавятся?

31. Почему рушатся при пожаре стальные конструкции, хотя сталь не горит и в огне пожара не плавится?

32. Скользкость льда объясняют понижением точки таяния льда при повышении давления. Известно, что для понижения точки таяния льда на 1 °С требуется давление в 130 ат. Поэтому, чтобы кататься на коньках при морозе, например, в 5 °С, конькобежец должен

…казывать на лед давление 5·130=650 ат. Однако поверхность, [illegible] которой лезвие конька соприкасается со льдом, не меньше нескольких квадратных сантиметров, так что на 1 см² приходится не более 10—20 кг с веса конькобежца. Следовательно, давление конькобежца на лед во много раз меньше того, какое необходимо для понижения точки таяния льда на 5° С. Как же объяснить возможность кататься на коньках при морозе в 5° С и более?

33. Какого цвета го[illegible] пар?

34. Укажите [illegible] в следующих строках старинного (1799 [illegible]):

> Я чаю, эхо, ты мне в реке отвечаешь? — Чаешь.
> Конечно, ты вело меня с полей сюда? — Да!
> Мне долго говорить с тобой [illegible] — Можно!
> Нет, нет. Пойду [illegible] — Что?

35. Хорошо известно, [illegible] звук лучше, нежели воздух: всем известен опыт с постукиванием по [illegible] длинного бревна — звуки эти можно услышать, приложив ухо к другому концу бревна. Почему же разговор, [illegible] в соседней комнате, заглушается, [illegible] дверь в комнату [illegible]?

36. Если [illegible] камертон поставить на деревянный ящик, звук заметно у[illegible]. Откуда берется избыточная энергия?

37. 1) Све[illegible] от Солнца до Земли не мгновенно, а за 8 минут с небольшим. [illegible] сказывается это на моменте восхода Солнца? Рассмотрите [illegible] двух точек зрения: а) Земля вращается вокруг своей оси [illegible] неподвижном Солнце; б) Солнце обращается за 24-часовой период вокруг неподвижной Земли.

2) Как изменилось бы действие глаза и оптических приборов при мгновенном распространении света?

38. Почему в солнечный день на мостовой отчетливо видна тень от уличного фонаря, но тень проводов, на которых он подвешен, видна слабо?

39. Можно ли при свете полной луны читать книгу?

40. Что освещает сильнее: звезда первой величины или свеча с расстояния 500 м?

41. Луну мы видим белой; в телескоп поверхность ее кажется словно гипсовой. Астрономы утверждают, однако, что поверхность ее темно-серая. Как примирить эти противоречия?

42. Почему снег белый, хотя составлен из прозрачных ледяных кристалликов?

43. а) Некто утверждал, что в полдень видел в Москве радугу на небе. Возможно ли это?

б) Автор старинного сочинения о радуге (парижский аббат де-ла-Плюш, 1781 г.) сообщал, что ему случилось видеть радугу, находясь в Париже у одного ее конца, в то время как другой ее конец упирался в предместье города. При каких условиях это могло наблюдаться?

44. Почему ситец, лиловый при дневном освещении, кажется черным при вечернем электрическом свете?

45. Почему в железнодорожной практике для сигнала остановки выбран красный цвет?

46. Из вопросов Эдисоновой викторины:

«Показатель преломления одного стекла 1,5, другого 1,7. Из того и другого выточено по двояковыпуклой линзе. Обе линзы геометрически одинаковы. В чем разнятся они оптически?

...Какое действие каждая из них произведет на луч, параллельный оптической оси, если их погрузить в прозрачную жидкость с показателем преломления 1,6?».

47. Луна близ горизонта видна более крупной, чем высоко в небе. Почему же не замечаем мы новых подробностей?

48. Почему проколотый листок тонкого картона действует подобно лупе?

49. «Солнечной постоянной» называется количество энергии, в единицу времени доставляемой солнечными лучами единице поверхности, выставленной на наружной границе земной атмосферы перпендикулярно к лучам Солнца. Где солнечная постоянная больше: зимой на тропике или летом на полярном круге?

50. Существует ли металл, намагничивающийся сильнее железа?

51. Намагниченная спица разломана на мелкие части. Какой из полученных обломков окажется намагниченным сильнее — находившийся ближе к концам спицы или ближе к середине?

52. На чувствительных весах уравновешены железный цилиндр и медная гиря. Учитывая действие земного магнетизма, можно ли признать массы куска железа и гири строго равными?

53. а) Легкий бузинный шарик притягивается палочкой. Значит ли это, что палочка была первоначально наэлектризована? А если бузинный шарик от палочки отталкивается?

б) Железная палочка притягивает стальную иглу. Значит ли это, что палочка была первоначально намагничена? А если иголка от палочки отталкивается?

54. Как велика электрическая емкость человеческого тела?

55. Электрическое сопротивление нити накала в нагретом состоянии иное, чем в холодном. Как велика эта разница для 50-ваттной вакуумной лампочки?

56. Проводит ли стекло электрический ток?

57. Для некоторых электрических лампочек вредно частое выключение. Почему?

58. Нити накала электрической лампочки, когда она не под током, настолько тонки, что едва различаются невооруженным глазом. Почему же заметно утолщаются они под током?

59. Какой примерно длины молния?

60. Отрезок был измерен дважды. В первый раз для его длины было получено значение 42,27 мм, во второй 42,29 мм. Какова истинная длина отрезка?

61. Эскалатор Московского метрополитена на станции Кировская поднимается от уровня станции до входа в течение 1 мин 20 с. Пассажир, взбираясь по ступеням неподвижного эскалатора, может пройти тот же путь за 4 мин. За какое время поднимется от станции до входа пассажир, если будет взбираться по ступеням поднимающегося эскалатора?

62. Из вопросов Эдисоновой викторины:

«Два города, расположенные на разных берегах реки в миле (1,6 км) друг от друга, остались после стихийного бедствия без взаимного сообщения. Как вы установили бы связь между этими городами, не пользуясь услугами электричества? Переправиться через эту реку для человека невозможно».

63. На глубине 1 км затонула в море незакупоренная бутылка. Как изменится вместимость бутылки под давлением воды — увеличится или уменьшится?

64. Вот заимствованное из иностранного детского журнала описание простого опыта, цель которого — демонстрировать атмосферное давление:

«Горящий огарок свечи укрепляют на дне стеклянной банки и, когда пламя погорит некоторое время, накрывают банку крышкой, проложив между ними увлажненное резиновое кольцо. Пламя тускнеет и вскоре гаснет. Попробуйте тогда оторвать крышку от банки — это удастся вам лишь при значительном усилии.

...Причину явления легко понять. Пламя потребляет кислород, запас которого в герметически закрытой банке ограничен. Когда он израсходуется весь, пламя гаснет. Оставшаяся часть воздуха, заняв больший объем, разрежается и давит слабее. Избыток наружного давления и прижимает так сильно крышку к банке».

Находите ли вы это объяснение правильным?

65. Из научно-популярной книги:

«На основании некоторых измерений ученые узнали, что плотность всего земного шара равна приблизительно 5,5 г/см^3, объем же его известен, так как измерен его диаметр. Умножая этот объем на 5,5 г/см^3, ученые нашли, чему равна масса Земли».

Правильно ли указан здесь путь определения массы Земли?

66. В одном из сборников задач имеется следующая:

«Астрономы считают, что наша Солнечная система летит со скоростью около 17 км/с по направлению к созвездию Лиры. Какие явления можно было бы заметить на Земле, если бы это движение было не равномерным, а ускоренным или замедленным?»

Дайте ответ.

67. После прочтения мною докладов о будущих ракетных полетах в мировом пространстве, один астроном возразил мне:

«Вы упускаете из виду существенное обстоятельство, делающее достижение Луны в ракетном корабле совершенно безнадежным предприятием. Масса ракеты — по сравнению с массой небесных тел — исчезающе мала, а ничтожные массы получают огромные ускорения под действием сравнительно малых сил, которыми при других условиях можно было бы пренебречь. Я имею в виду притяжение планет — Венеры, Марса, Юпитера. Оно, конечно, крайне невелико, но ведь масса ракеты практически равна нулю, и для такой ничтожной массы действие даже небольших сил должно быть чрезвычайно ощутимо. Они породят огромные ускорения — ракета будет метаться в мировом пространстве по самым фантастическим путям, откликаясь на притяжение каждого сколько-нибудь массивного тела, и в своем блуждании никогда на Луну не набредет».

Ваше мнение, читатель?

68. Вот еще одно возражение против осуществимости межпланетных перелетов. Астроном, разбирая (в сборнике «Успехи и достижения современной науки и техники») условия пребывания человека в среде без тяжести, высказал следующее соображение:

«Наш организм очень чутко реагирует на всякое нарушение в этом отношении. Попробуйте побывать некоторое время с опущенной головой или с поднятыми вверх ногами. Наступающие расстройства кровообращения бывают очень серьезны. Если так действует изменение направления силы тяжести, то как же должно действовать ее отсутствие?»

Что скажете вы о логической силе этого довода?

69. Укажите основания, дающие право рассматривать живой человеческий организм как тепловую машину.

70. Почему светятся метеоры?

71. В фабрично-заводских районах туманы бывают чаще, чем в окружающих лесистых или земледельческих местностях. Лондонские туманы вошли в поговорку. Чем это объяснить?

72. Какая разница между туманом, дымом и пылью?

73. Существует народное поверье, что легкие облака тают в лучах Луны. Летом это поверье часто оправдывается. Как объяснить подобное действие лунного света?

74. Где молекулы обладают большей кинетической энергией: в водяном паре при 0 °С, в жидкой воде при 0 °С, или во льду при 0 °С?

75. Какова приблизительно скорость теплового движения молекул водорода при —273 °С?

76. Достижим ли абсолютный нуль?

77. Можно ли видеть невооруженным глазом одну 10-миллионную долю грамма вещества?

78. Если взять какое-либо вещество в количестве одного моля, т. е. такое число его граммов, которое равно молекулярной массе этого вещества (например, 2 г водорода или 32 г кислорода), то во взятой порции всегда окажется одно и то же число молекул, именно 60 с 22 нулями ($60 \cdot 10^{22}$ моль$^{-1}$). Число это носит в физике название «постоянной Авогадро». Вообразите, что имеется такое число не молекул, а булавочных головок. Вы желаете заказать ящик для вмещения этой огромной кучи головок. Высота ящика предполагается равной 1 км. Каковы приблизительно будут размеры его основания? Поместился бы такой ящик в пределах Москвы или Ленинграда?

79. Если в океан вылить литр спирта, то молекулы спирта распределятся через некоторое время равномерно по всей водной массе мирового океана. Сколько приблизительно понадобится зачерпнуть в океане литров воды, чтобы выловить одну молекулу спирта?

80. Во сколько приблизительно раз среднее расстояние между молекулами водорода при 0 °С и нормальном давлении больше диаметра газовой молекулы?

81. Какой приблизительно размер имели бы молекулы, если бы все тела на Земле увеличились линейно в миллион раз?

82. Чему приблизительно равен x в пропорции

$$\frac{\text{диаметр электрона}}{x} = \frac{x}{\text{диаметр Солнца}}?$$

83. а) Если бы мельчайшая бактерия увеличилась до размеров земного шара, какой приблизительно размер имели бы электрон и протон?

б) Если бы электрон сделался толщиной с волос, какой толщины оказался бы волос?

в) Если бы диаметр орбиты Нептуна был уменьшен до диаметра Земли, какой диаметр имела бы Земля?

г) Если бы диаметр Земли уменьшился до 1 мм, как велико оказалось бы (при пропорциональном уменьшении) расстояние до Сириуса)?

д) Если бы вся Солнечная система уменьшилась в диаметре до толщины волоса, каково оказалось бы в соответствующем уменьшении расстояние до туманности Андромеды?

PHOTOS BY ANDREY G AKA DONUT190